

**PENGOPTIMALAN KONSUMSI ENERGI DALAM JARINGAN
SENSOR NIRKABEL MELALUI PENINGKATAN METODE FUZZY
TSUKAMOTO PADA PROTOKOL ROUTING**

SKRIPSI

**Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer**



DISUSUN OLEH:

M. AZIZ ALHADI

09011382025102

**JURUSAN SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024**

**PENGOPTIMALAN KONSUMSI ENERGI DALAM
JARINGAN SENSOR NIRKABEL MELALUI PENINGKATAN
METODE FUZZY TSUKAMOTO PADA PROTOKOL
ROUTING**

SKRIPSI

**Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer**



DISUSUN OLEH:

M. AZIZ ALHADI

09011382025102

**JURUSAN SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

Pengoptimalan Konsumsi Energi Dalam Jaringan Sensor Nirkabel Melalui Peningkatan Metode Fuzzy Tsukamoto Pada Protokol Routing

Skripsi

Program Studi Sistem Komputer

Jenjang S1

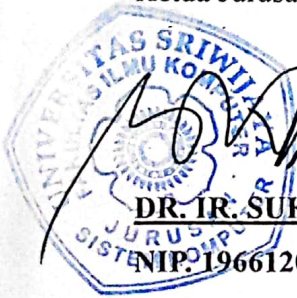
Oleh:

M. AZIZ ALHADI

09011382025102

Palembang, 6 Januari 2025

Ketua Jurusan Sistem Komputer



DR. IR. SUKEMI, M.T.

NIP. 196612032006041001

Pembimbing Tugas Akhir

HUDA UBAYA, S.T., M.T.

NIP. 198106162012121003

AUTHENTICATION PAGE

***Optimization of Energy Consumption in Wireless Sensor Networks
Through Enhanced Fuzzy Tsukamoto Method in Routing Protocols***

THESIS

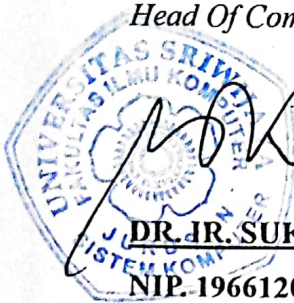
***Dept. of Computer System
Bachelor's Degree***

By:

***M. AZIZ ALHADI
09011382025102***

Palembang, *9* January 2025

Head Of Computer System Department



DR. IR. SUKEMI, M.T.

NIP. 196612032006041001

Supervisor

HUDA UBAYA, S.T., M.T.

NIP. 198106162012121003

HALAMAN PERSETUJUAN

Telah diuji dan lulus pada:

Hari : Selasa

Tanggal : 24 Desember 2024

Tim Penguji

1. Ketua : Aditya Putra Perdana Prasetyo, S.Kom., M.T.

2. Penguji : Dr. Ahmad Zarkasi, M.T.

3. Pembimbing: Huda Ubaya, S.T., M.T.

Mengetahui, *6/1/24*

Ketua Jurusan Sistem Komputer



[Signature]
Dr. Ir. Sukemi, M. T.

NIP. 196612032006041001

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Aziz Alhadi

NIM : 09011382025102

Judul : Pengoptimalan Konsumsi Energi Dalam Jaringan Sensor Nirkabel Melalui Peningkatan Metode Fuzzy Tsukamoto Pada Protokol Routing

Hasil Pengecekan Software iThenticate/Turnitin: 6%

Menyatakan bahwa laporan tugas akhir saya merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil penjiplakan atau plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan atau plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan dari siapapun.



Palembang, Januari 2025



M. Aziz Alhadi
NIM.09011382025102

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Marilah kita panjatkan puji serta syukur atas kehadiran Allah SWT karena atas berkat hidayah dan karunia – Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul **“Pengoptimalan Konsumsi Energi Dalam Jaringan Sensor Nirkabel Melalui Peningkatan Metode Fuzzy Tsukamoto Pada Protokol Routing”**

Sebelumnya, penulis ingin memberikan serta mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang senantiasa memberikan ide, masukan, kritik, serta motivasi selama penulis melakukan penyusunan Tugas Akhir. Ucapan terima kasih tersebut ingin penulis sampaikan kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa telah membberikan rahmat serta karunia – Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini.
2. Orang tua saya tercinta Bapak M. Busro dan Ibu Rohmiati yang tidak letih – letih dalam mengasuh serta mendidik saya sehingga saat ini dan tak ada hentinya juga dalam memberikan nasihat, semangat, serta juga dalam memberikan motivasi.
3. Bapak Prof. Dr. Erwin, S.Si, M.Si. yang merupakan Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Ir. Sukemi, M.T., yang merupakan Ketua Jurusan Sistem Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Huda Ubaya, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah berkenan meluangkan waktu dan tenaga dalam membimbing, memberikan saran serta motivasi kepada penulis selama proses penulisan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Ahmad Heryanto, S.Kom., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik Jurusan Sistem Komputer penulis saat ini.
7. Mbak Sari selaku admin jurusan Sistem Komputer yang telah berjasa dalam membantu permasalahan administrasi penulis.
8. Sahabat baik saya Sahara Diva Maharani, Siti Triwinarti Ningrum, Ully Afifa, Royhan Jordy, Mudrik Hugo, dan Gulam Robani Toha yang telah

memberikan banyak support dan bantuan selama penulis menjalani masa perkuliahan hingga akhir.

9. Semua pihak yang terlibat yang telah turut ikut membantu, baik itu dalam memberikan masukan dan ide, kritik maupun juga memberikan semangat kepada penulis yang mana tidak dapat disebutkan satu persatu.

10. Almamater Universitas Sriwijaya.

Penulis menyadari bahwasannya Tugas Akhir yang telah diselesaikan ini masih tidak mendekati kata sempurna. Maka dari itu penulis meminta kritik, masukan, serta ide yang dapat digunakan oleh penulis agar penyusunan Tugas Akhir akan menjadi jauh lebih baik lagi di masa mendatang.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Palembang, Januari 2025

Penulis

M. Aziz Alhadi

NIM. 09011382025102

PENGOPTIMALAN KONSUMSI ENERGI DALAM JARINGAN SENSOR NIRKABEL MELALUI PENINGKATAN METODE FUZZY TSUKAMOTO PADA PROTOKOL ROUTING

M. Aziz Alhadi (09011382025102)

Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya

Email: azizalhadi13@gmail.com

ABSTRAK

Jaringan sensor nirkabel (JSN) adalah sistem terdistribusi yang terdiri atas banyak sensor kecil dan cerdas untuk memantau, mengumpulkan, serta mengirim data dari lingkungan sekitar ke pusat pengendali. Dalam penggunaannya, JSN menghadapi tantangan besar terkait keterbatasan sumber daya energi, terutama pada node sensor yang ditenagai oleh baterai. Pengelolaan energi yang tidak efisien dapat menyebabkan kegagalan node, menurunkan kinerja jaringan, dan memperpendek umur jaringan secara keseluruhan. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan konsumsi energi dalam JSN dengan menerapkan metode Fuzzy Tsukamoto yang ditingkatkan pada protokol routing. Metode Fuzzy Tsukamoto digunakan untuk menentukan jalur komunikasi optimal berdasarkan parameter seperti tingkat energi yang tersisa, jarak antar node, dan kualitas sinyal. Pendekatan berbasis fuzzy ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih adaptif terhadap kondisi jaringan yang dinamis, dengan hasil akhir berupa distribusi energi yang lebih merata dan masa pakai jaringan yang lebih panjang. Hasil penelitian ini membuka peluang pengembangan lebih lanjut untuk mengintegrasikan metode Fuzzy Tsukamoto dengan algoritma optimasi lainnya guna meningkatkan efisiensi energi pada jaringan sensor yang lebih kompleks.

Kata Kunci: Jaringan Sensor Nirkabel, Routing Protokol, Fuzzy Logic, Fuzzy Tsukamoto, Contiki Cooja

OPTIMIZATION OF ENERGY CONSUMPTION IN WIRELESS SENSOR NETWORKS THROUGH ENHANCED FUZZY TSUKAMOTO METHOD IN ROUTING PROTOCOLS

M. Aziz Alhadi (09011382025102)

Dept. Of Computer System, Faculty of Computer Science, Sriwijaya University

Email: azizalhadi13@gmail.com

ABSTRACT

Wireless Sensor Networks (WSN) are distributed systems consisting of numerous small and intelligent sensors designed to monitor, collect, and transmit data from the surrounding environment to a control center. In practice, WSN faces significant challenges related to limited energy resources, particularly in sensor nodes powered by batteries. Inefficient energy management can lead to node failures, degraded network performance, and a shortened network lifespan. This research aims to optimize energy consumption in WSN by applying the enhanced Fuzzy Tsukamoto method to routing protocols. The Fuzzy Tsukamoto method is utilized to determine optimal communication paths based on parameters such as remaining energy levels, inter-node distance, and signal quality. This fuzzy-based approach enables more adaptive decision-making in response to dynamic network conditions, resulting in more balanced energy distribution and extended network lifespan. The findings of this research open opportunities for further development by integrating the Fuzzy Tsukamoto method with other optimization algorithms to improve energy efficiency in more complex sensor networks.

Keywords: *Wireless Sensor Networks, Routing Protocol, Fuzzy Logic, Fuzzy Tsukamoto, Contiki Cooja.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
<i>AUTHENTICATION PAGE</i>	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. LATAR BELAKANG.....	1
1.2. RUMUSAN MASALAH.....	3
1.3. TUJUAN.....	4
1.4. MANFAAT.....	4
1.5. SISTEMATIKA PENULISAN.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Penelitian Terdahulu.....	6
2.2. Jaringan Sensor Nirkabel.....	15
2.3. Konsep Logika Fuzzy.....	16
2.4. Model Fuzzy.....	18
2.5. Pengoptimalan Jaringan Sensor Nirkabel Melalui Peningkatan Metode Fuzzy.....	19
2.6. Metode Fuzzy Tsukamoto pada Optimasi Energi di JSN.....	20
2.7. FD-LEACH (Fuzzy Dynamic Low Energi Adaptive Clustering Hierarchy).....	21
2.8. Logikan Fuzzy.....	22
2.9. Teori Routing Protocols.....	24
2.10. Teori Cluster Head.....	26
2.11. Konsumsi Energi Pada Jaringan Sensor Nirkabel.....	27
2.12. Teori Routing Protokol Dengan Fuzzy.....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	30

3.1.	Pendahuluan	30
3.2.	Kerangka Kerja Penelitian	30
3.3.	Spesifikasi Kebutuhan	31
3.1.1.	Kebutuhan Pengguna	32
3.1.2.	Kebutuhan Perangkat Lunak	32
3.1.3.	Kebutuhan Perangkat Keras	32
3.4.	Perancangan dan Pemodelan Routing Protokol Dengan Fuzzy	32
3.4.1.	Pemilihan Routing Berbasis Fuzzy Logic	33
3.4.2.	Perancangan Algoritma Fuzzy Interface System (FIS)	34
3.4.3.	Kumpulan Aturan Fuzzy (Fuzzy Rule Set)	35
3.4.4.	Representasi Fungsi Keanggotaan FUZZY (MF)	36
3.5.	Pengolahan Data Uji	40
3.6.	Pembentukan Himpunan Fuzzy	41
3.7.	Fungsi Implikasi	46
3.8.	Komposisi Aturan	46
3.9.	Perancangan dan Pemodelan Routing Protokol dengan Fuzzy	47
3.10.	Parameter Simulasi	49
BAB IV PEMBAHASAN		51
4.1.	Batas Implementasi	51
4.2.	Implementasi Pengujian	51
4.3.	Implementasi Formasi Cluster	51
4.4.	Hasil Perhitungan Konsumsi Energi Tanpa Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto	53
4.5.	Hasil Perhitungan Konsumsi Energi Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto	55
4.6.	Hasil Perbandingan Konsumsi Energi Tanpa Metode dan Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto	62
4.7.	Hasil Perbandingan Konsumsi Energi	68
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		70
5.1.	Kesimpulan	70
5.2.	Saran	71
DAFTAR PUSTAKA		72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jaringan Sensor Nirkabel.....	16
Gambar 3.1 Kerangka Kerja Penelitian.....	31
Gambar 3.2 Diagram Alur Pemilihan Rute dan Cluster Head.....	34
Gambar 3.3 Diagram Blok Fuzzy Interface System (FIS)	35
Gambar 3.4 Fungsi masukan keanggotaan energi sisa	37
Gambar 3.5 Fungsi masukan keanggotaan biaya	38
Gambar 3.6 Fungsi masukan keanggotaan kemungkinan	39
Gambar 4.1 Topologi dengan total 63 node.....	52
Gambar 4.2 Topologi dengan total 93 node.....	52
Gambar 4.3 Topologi dengan total 123 node.....	53
Gambar 4.4 Diagram Sankey Perbandingan Konsumsi Energi.....	63
Gambar 4.5 Grafik Simulasi Ke-1 Antar Node	64
Gambar 4.6 Grafik Simulasi Ke-2 Antar Node	65
Gambar 4.7 Grafik Simulasi Ke-3 Antar Node	66
Gambar 4.8 Grafik Simulasi Ke-1 Antar Cluster.....	66
Gambar 4.9 Grafik Simulasi Ke-2 Antar Cluster.....	67
Gambar 4.10 Grafik Simulasi Ke-3 Antar Cluster.....	68

DAFTAR TABEL

Table 2.1 Penelitian Terdahulu	7
Table 3.1 Kebutuhan Perangkat Lunak.....	32
Table 3.2 Kebutuhan Perangkat Keras.....	32
Table 3.3 Parameter masukan energi sisa	36
Table 3.4 Fungsi masukan keanggotaan energi sisa.....	37
Table 3.5 Parameter masukan kemungkinan.....	38
Table 3.6 Basis aturan fuzzy untuk kemungkinan pemilihan jalur.....	39
Table 3.7 Parameter umum simulasi.....	50
Tabel 4.1 Hasil Konsumsi Energi Cluster 1-3 Simulasi Ke-1 Non Metode.....	53
Tabel 4.2 Hasil Konsumsi Energi Cluster 1-3 Simulasi Ke-2 Non Metode.....	54
Tabel 4.3 Hasil Konsumsi Energi Cluster 1-3 Simulasi Ke-3 Non Metode.....	54
Tabel 4.4 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 1 Simulasi Ke-1	55
Tabel 4.5 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 2 Simulasi Ke-1	56
Tabel 4.6 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 3 Simulasi Ke-1	57
Tabel 4.7 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 1 Simulasi Ke-2	58
Tabel 4.8 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 2 Simulasi Ke-2	58
Tabel 4.9 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 3 Simulasi Ke-2	59
Tabel 4.10 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 1 Simulasi Ke-3	60
Tabel 4.11 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 2 Simulasi Ke-3	61
Tabel 4.12 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 3 Simulasi Ke-3	61
Tabel 4.13 Hasil Perbandingan parameter kinerja.....	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Jaringan sensor nirkabel (JSN) adalah sistem terdistribusi dari sejumlah besar sensor kecil dan cerdas yang berkomunikasi secara nirkabel untuk memantau dan mengumpulkan data dari lingkungan. JSN memiliki komponen kunci seperti node sensor, yang terdiri dari sensor, prosesor, modul komunikasi, sumber daya dan penyimpanan energi, serta node sink, yang mengumpulkan data dari beberapa node sensor dan bertindak sebagai gerbang ke stasiun pangkalan atau cloud yang ada. Stasiun pangkalan bertindak sebagai pusat kendali dan penyimpanan data yang menerima, mengelola, dan menganalisis data dari node sink. JSN dapat memanfaatkan berbagai topologi jaringan seperti star, mesh, dan cluster, serta protokol komunikasi hemat energi seperti Zigbee dan Bluetooth Low Energy. Untuk menghemat energi, JSN menggunakan mode hemat daya, optimalisasi perutean dengan protokol efisien seperti LEACH dan AODV, kompresi data, dan pemrosesan data lokal [1].

Protokol perutean untuk pemeliharaan energi dalam jaringan sensor nirkabel (JSN) menggunakan teknik fuzzy tingkat lanjut adalah solusi yang membantu mengatasi tantangan pengelolaan sumber daya energi sensor yang terbatas dalam jaringan. Di jaringan sensor nirkabel, sensor seringkali memiliki sumber daya yang terbatas dan mahal untuk diganti dan diisi ulang. Masalah pada JSN mencakup penggunaan energi yang tidak efisien, yang dapat mempercepat pengurasan baterai sensor dan memperpendek masa pakai jaringan secara keseluruhan. Protokol perutean berbasis fuzzy yang ditingkatkan dirancang untuk mengoptimalkan konsumsi energi dengan menyesuaikan jalur komunikasi berdasarkan kondisi jaringan dan sumber daya yang tersedia, sehingga memperpanjang masa pakai sensor dan meningkatkan efisiensi operasional jaringan.

Solusi yang memanfaatkan protokol perutean untuk mengelola sumber daya energi secara efisien sangat penting untuk memastikan kelangsungan jaringan. Dengan menggunakan teknik logika fuzzy yang ditingkatkan, solusi perutean dapat disesuaikan dengan kondisi dinamis lingkungan jaringan sensor nirkabel (JSN) dan karakteristik daya masing-masing sensor. Teknik logika fuzzy dapat mengevaluasi kondisi jaringan secara fleksibel dan menentukan perutean optimal berdasarkan parameter seperti tingkat energi sensor, jarak antar node, dan kualitas sinyal. Hal ini meminimalkan konsumsi energi dengan menghindari node dengan baterai lemah dan memilih jalur yang efisien, memperpanjang masa pakai sensor, dan meningkatkan efisiensi operasional jaringan [1].

Keunggulan logika fuzzy mencakup kemampuannya menghadapi ketidakpastian dan kompleksitas sistem yang tidak terstruktur. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti kondisi lingkungan dan tingkat energi yang berfluktuasi, protokol routing berbasis logika fuzzy dapat membantu membuat keputusan yang lebih adaptif dan efisien. Teknologi logika fuzzy memungkinkan evaluasi kondisi jaringan yang dinamis dan fleksibel, mengoptimalkan konsumsi energi, dan memperpanjang masa pakai sensor.

Landasan penelitian ini adalah pentingnya penggunaan energi yang efisien dalam jaringan sensor nirkabel (JSN). JSN terdiri dari banyak node sensor dengan sumber daya terbatas, seperti daya baterai. Oleh karena itu, penggunaan energi yang efisien adalah kunci untuk memperpanjang umur jaringan dan mempertahankan kinerja puncak.

Routing protokol dalam jaringan sensor nirkabel (JSN) adalah seperangkat aturan dan prosedur yang dirancang untuk menentukan jalur terbaik yang harus diambil oleh paket data saat dikirim dari satu node sensor ke node sensor lainnya dalam jaringan tersebut. Setiap node dalam JSN biasanya memiliki keterbatasan sumber daya, terutama dalam hal daya baterai dan bandwidth. Oleh karena itu, tujuan utama dari protokol routing di JSN adalah untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya tersebut sambil tetap mempertahankan kualitas layanan yang diinginkan, seperti kecepatan pengiriman data, keandalan, dan efisiensi komunikasi antar node. Dengan menggunakan protokol routing yang tepat, jaringan

sensor nirkabel dapat beroperasi lebih lama dan menjaga stabilitas transmisi data, meskipun dalam kondisi sumber daya yang terbatas.

Fuzzy Tsukamoto merupakan metode kendali fuzzy yang dikembangkan oleh Profesor Mamoru Mizumoto dan Kunio Tsukamoto pada tahun 1970an sebagai evolusi dari konsep kendali fuzzy yang diperkenalkan oleh Profesor Lotfi Zadeh pada tahun 1965. Metode ini terutama digunakan untuk pengambilan keputusan dalam sistem yang kompleks dan tidak terstruktur. Dalam konteks ini, teknik ini menerapkan logika fuzzy untuk menangani ketidakpastian dan kompleksitas data masukan dan menghasilkan keluaran yang beradaptasi dan merespons perubahan lingkungan. Fuzzy Tsukamoto digunakan di banyak industri seperti IoT, kontrol otomatis, dan pengambilan keputusan, memberikan solusi yang efisien dan mudah beradaptasi terhadap berbagai tantangan dalam lingkungan yang dinamis [2].

Pengoptimalan konsumsi energi dalam jaringan sensor nirkabel melibatkan usaha untuk mengatur penggunaan daya baterai pada sensor-sensor yang ada di jaringan tersebut. Jaringan sensor nirkabel mencakup beragam sensor yang tersebar di suatu wilayah untuk melakukan deteksi, pengukuran, dan pengiriman data ke node pusat atau kontrol. Dalam situasi ini, pengelolaan energi menjadi sangat penting karena sensor-sensor tersebut menggunakan daya dari baterai yang memiliki keterbatasan, dan seringkali sulit atau tidak praktis untuk melakukan penggantian secara berkala [3].

1.2. RUMUSAN MASALAH

Perumusan masalah dari penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana penerapan metode Fuzzy Tsukamoto dapat mengoptimalkan konsumsi energi pada jaringan sensor nirkabel?
2. Seberapa efektif metode Fuzzy Tsukamoto dalam mengurangi konsumsi energi dibandingkan dengan metode tanpa fuzzy

1.3. TUJUAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, adapun tujuan dari penelitian skripsi ini yaitu:

1. Mengoptimalkan konsumsi energi yang digunakan oleh sensor saat menjalankan berbagai tugas dalam jaringan sensor nirkabel (JSN).
2. Meningkatkan efisiensi perutean hemat energi dalam JSN untuk memperpanjang masa pakai jaringan.

1.4. MANFAAT

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, adapun manfaat dari penelitian skripsi ini, yaitu:

1. Memperpanjang masa pakai jaringan sensor nirkabel (JSN) melalui pengembangan strategi perutean hemat energi.
2. Meningkatkan efisiensi energi dengan mengoptimalkan penggunaan energi oleh sensor dalam menjalankan berbagai tugas jaringan, sehingga mengurangi konsumsi energi secara keseluruhan dalam JSN.

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

Adapun dalam penyusunan skripsi ini akan disusun secara sistematis dengan cara urutan per-bab. Selanjutnya, dalam setiap bab itu sendiri berisikan masing – masing sub bab yang sebagaimana isisnya dalah menjelaskan secara detail dari sub bab yang bersangkutan. Sistematika yang akan digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi mengenai latar belakang penelitian yang dilakukan, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan penelitian

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang penelitian terkait dengan penelitian yang dilakukan, teori yang mendukung, dan rangkuman dari kajian Pustaka

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas tentang data set yang digunakan untuk penelitian, perangkat yang digunakan, blok diagram, serta metodologi yang digunakan untuk melakukan penelitian.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Bab ini berisi tentang proses penelitian yang dilakukan serta penjelasan dari penelitian yang dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan mengenai kesimpulan penelitian dari yang dilakukan serta saran dari hasil penelitian yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. S. Bensaleh, R. Saida, Y. H. Kacem, and M. Abid, "Wireless Sensor Network Design Methodologies: A Survey," *J. Sensors*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/9592836.
- [2] R. S. Damanik, M. Hannats, H. Ichsan, and S. R. Akbar, "Analisis Metode Fuzzy Tsukamoto dan Floyd-Warshall untuk Pencarian Rute Terbaik pada Wireless Sensor Network berbasis Matlab," vol. 6, no. 9, pp. 4188–4195, 2022, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [3] Moh. Agus Gunawan, "Meningkatkan Efisiensi Energi pada Jaringan Sensor Nirkabel melalui Pemilihan Node dan Optimalisasi Routing," *Electr. J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 3, pp. 277–281, 2023, doi: 10.23960/elc.v17n3.2501.
- [4] A. Jain and A. K. Goel, "Energy Efficient Fuzzy Routing Protocol for Wireless Sensor Networks," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 110, no. 3, pp. 1459–1474, 2020, doi: 10.1007/s11277-019-06795-z.
- [5] M. Maryem, E. O. Abdelghani, and T. Belkassem, "Routing in Wireless Sensor Networks using Fuzzy Logic: A survey," *2020 Int. Conf. Intell. Syst. Comput. Vision, ISCV 2020*, pp. 1–6, 2020, doi: 10.1109/ISCV49265.2020.9204318.
- [6] D. Jing, "Harris Harks Optimization Based Clustering with Fuzzy Routing for Lifetime Enhancing in Wireless Sensor Networks," *IEEE Access*, vol. 12, no. January, pp. 12149–12163, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3354276.
- [7] R. M. Al-Kiyumi, C. H. Foh, S. Vural, P. Chatzimisios, and R. Tafazolli, "Fuzzy Logic-Based Routing Algorithm for Lifetime Enhancement in Heterogeneous Wireless Sensor Networks," *IEEE Trans. Green Commun. Netw.*, vol. 2, no. 2, pp. 517–532, 2018, doi: 10.1109/TGCN.2018.2799868.
- [8] W. Fei, B. Hexiang, L. Deyu, and W. Jianjun, "Energy-Efficient Clustering Algorithm in Underwater Sensor Networks Based on Fuzzy C Means and Moth-Flame Optimization Method," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 97474–97484, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2997066.
- [9] A. Mohamed, W. Saber, I. Elnahry, and A. E. Hassanien, "Coyote optimization based on a fuzzy logic algorithm for energy-efficiency in wireless sensor networks," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 185816–185829, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3029683.
- [10] M. Gamal, N. E. Mekky, H. H. Soliman, and N. A. Hikal, "Enhancing the Lifetime of Wireless Sensor Networks Using Fuzzy Logic LEACH Technique-Based Particle Swarm Optimization," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 36935–36948, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3163254.
- [11] B. Zhu, E. Bedeer, H. H. Nguyen, R. Barton, and J. Henry, "Improved Soft-k-Means Clustering Algorithm for Balancing Energy Consumption in

Wireless Sensor Networks,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 8, no. 6, pp. 4868–4881, 2021, doi: 10.1109/JIOT.2020.3031272.

- [12] M. Farsi, M. Badawy, M. Moustafa, H. A. Arafat, and Y. Abdulazeem, “A Congestion-Aware Clustering and Routing (CCR) Protocol for Mitigating Congestion in WSN,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 105402–105419, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2932951.
- [13] S. Sankar and P. Srinivasan, “Fuzzy logic based energy aware routing protocol for internet of things,” *Int. J. Intell. Syst. Appl.*, vol. 10, no. 10, pp. 11–19, 2018, doi: 10.5815/ijisa.2018.10.02.
- [14] H. M. A. Fahmy, *Energy Harvesting Projects for WSNs*. 2020. doi: 10.1007/978-3-030-29700-8_7.
- [15] M. H. Wiwi, W. Wardi, and A. Agussalim, “Peningkatan Network Lifetime Menggunakan Cluster Based Pada Wireless Sensor Network,” *JITCE (Journal Inf. Technol. Comput. Eng.)*, vol. 4, no. 01, pp. 16–21, 2020, doi: 10.25077/jitce.4.01.16-21.2020.