

***Routing Protocol* Untuk Menghemat Energi  
Menggunakan Metode Fuzzy yang Ditingkatkan untuk  
Jaringan Sensor Nirkabel**

**SKRIPSI**

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



**DISUSUN OLEH:**

**ROYHAN JORDY**

**09011382025112**

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

**2024**

## LEMBAR PENGESAHAN

**Routing Protocol Untuk Menghemat Energi Menggunakan Metode Fuzzy  
yang Ditingkatkan untuk Jaringan Sensor Nirkabel**

**Skripsi**

**Program Studi Sistem Komputer**

**Jenjang S1**

**Oleh:**

**Royhan Jordy**

**09011382025112**

Palembang, <sup>8</sup> November 2024

**Ketua Jurusan Sistem Komputer**



**Dr. Ir. Sukemi, M.T.**

**NIP. 196612032006041001**

**Pembimbing Tugas Akhir**

A large, stylized handwritten signature in blue ink, written over the name and NIP of the supervisor.

**Huda Ubaya, S.T., M.T.**

**NIP. 198106162012121003**

**AUTHENTICATION PAGE**

***Enhanced Fuzzy Based Energy Efficient Routing Protocol For Wireless Sensor  
Network***

**THESIS**


***Dept. of Computer System***

***Bachelor's Degree***

**By:**

**Royhan Jordy**

**09011382025112**

  
Palembang, November 2024

***Head Of Computer Systems Department***



**Dr. Ir. Sukemi, M.T.**

**NIP. 196612032006041001**

***Supervisor***



**Huda Ubaya, S.T., M.T.**

**NIP. 198106162012121003**

## LEMBAR PERSETUJUAN

Telah di uji dan lulus pada:

Hari : Kamis

Tanggal : 24 Oktober 2024

Tim Penguji :

1. Ketua : Kemahyanto Exaudi, S.Kom., M.T.
2. Penguji : Dr. Ahmad Zarkasi, M.T.
3. Pembimbing : Huda Ubaya, S.T., M.T.



Three handwritten signatures in blue ink, each written over a horizontal line. The signatures are stylized and difficult to read.

Mengetahui, *S/10/24*  
Ketua Jurusan Sistem Komputer



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

**NIP. 196612032006041001**

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Royhan Jordy  
Nim : 09011382025112  
Prodi : Sistem Komputer

**Hasil Pengecekan Software *Thenticate/Turnitin*: 11%**

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

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



Palembang, November 2024



Royhan Jordy  
Nim. 09011382025112

## HALAMAN PERSEMBAHAN

**“Motto”**

***“Logika Mengalahkan Kepanikan, Pengetahuan Mengalahkan Ketakutan”***

***-h.u***

***“Orang Tua Dirumah Menanti Kepulanganmu Dengan Hasil yang Membanggakan, Jangan Kecewakan Mereka. Simpan Keluhmu, Sebab Letihmu Tak Sebanding Dengan Perjuangan Mereka Menghidupimu”***

***-ik***

***“Ever Tried, Ever Failed, No Matter, Try Agaim, Fall Again, Fail Better, The World is Your’s. Treat Everyone Kindly and Light Up the Night”***

***-p.d***

**Dengan segenap hati,skripsi ini dipersembahkan untuk :**

- ❖ **Allah SWT**
- ❖ **Diri Sendiri**
- ❖ **Kedua Orang Tua dan Keluarga**
- ❖ **Dosen Pembimbing**
- ❖ **Teman Seperjuangan**
- ❖ **Dosen, Pegawai, Dan Staf Fasilkom Universitas Sriwijaya**

## 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 “***Routing Protocol untuk Menghemat Energi Menggunakan Metode Fuzzy yang Ditingkatkan untuk Jaringan Sensor Nirkabel***”

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 Indra Hermadi dan Ibu Dewi Kusrini 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. H. 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 Prof. Dr. Erwin, S.Si, M.Si. 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. Mudrik Hugo Bhamakerti, M.Aziz Alhadi dan teman seperjuangan di Jurusan Sistem Komputer Unggulan 2020.

9. Yuliana Putri yang telah membantu saya dalam memberikan arahan dan dukungan sehingga saya dapat menyelesaikan laporan dengan baik
10. 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.

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, November 2024  
Penulis

Royhan Jordy  
09011382025112



# ***Routing Protocol Untuk Menghemat Energi Menggunakan Metode Fuzzy yang Ditingkatkan untuk Jaringan Sensor Nirkabel***

**Royhan Jordy (09011382025112)**

Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya

Email: [jordyrohan@gmail.com](mailto:jordyrohan@gmail.com)

## **ABSTRAK**

Jaringan sensor nirkabel (JSN) adalah jaringan yang terdiri dari sejumlah besar sensor nirkabel yang didistribusikan ke suatu area untuk mendeteksi dan mengukur berbagai parameter lingkungan. Jaringan sensor nirkabel (JSN) membutuhkan efisiensi energi tinggi karena daya baterai yang terbatas. Permasalahan utama yang diangkat peningkatan efisiensi penggunaan energi melalui metode fuzzy. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi konsumsi energi pada JSN, memahami pengaruh penerapan protokol routing berbasis fuzzy. Manfaat penelitian diharapkan dapat memberikan pemahaman lebih baik mengenai dampak penerapan protokol fuzzy pada efisiensi energi dalam JSN. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode fuzzy dalam simulasi menghasilkan penghematan energi yang signifikan dibandingkan metode non-fuzzy. Secara rata-rata, konsumsi energi per cluster pada simulasi pertama adalah 1,128 mJ tanpa fuzzy dan 0,094 mJ dengan fuzzy. Penghematan energi berkisar antara 85% hingga 92% dalam berbagai simulasi. Hal ini menunjukkan bahwa metode fuzzy mampu mengurangi konsumsi energi secara signifikan dan memperpanjang masa pakai jaringan sensor.

**Kata Kunci:** Jaringan Sensor Nirkabel, Routing Protokol, Fuzzy Logic, Fuzzy Mamdani

# ***Enhanced Fuzzy Based Energy Efficient Routing Protocol For Wireless Sensor Network***

**Royhan Jordy (09011382025112)**

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

Email: [jordyroyhan@gmail.com](mailto:jordyroyhan@gmail.com)

## **ABSTRACT**

*Wireless Sensor Network (WSN) consists of numerous wireless sensors distributed across an area to detect and measure various environmental parameters. WSN requires high energy efficiency due to the limited battery power of each sensor. The primary issue addressed is enhancing energy efficiency through the fuzzy method. This study aims to improve energy consumption efficiency in WSN, focusing on the impact of applying a fuzzy-based routing protocol. The study is expected to provide a better understanding of the effects of implementing the fuzzy protocol on energy efficiency in WSN. The results show that the application of the fuzzy method in simulations produces significant energy savings compared to the non-fuzzy method. On average, energy consumption per cluster in the first simulation is 1.128 mJ without fuzzy and 0.094 mJ with fuzzy. Energy savings range from 85% to 92% across various simulations. This demonstrates that the fuzzy method can significantly reduce energy consumption and extend the lifespan of sensor networks.*

**Keywords:** *Wireless Sensor Network, Routing Protocol, Clustering, Fuzzy Logic, Fuzzy Mamdani*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
<i>AUTHENTICATION PAGE</i> .....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. <b>LATAR BELAKANG.....</b>	1
1.2. <b>RUMUSAN MASALAH .....</b>	3
1.3. <b>TUJUAN.....</b>	3
1.4. <b>MANFAAT .....</b>	3
1.5. <b>SISTEMATIKA PENULISAN .....</b>	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 <b>Penelitian Terkait .....</b>	5
2.2 <b>Jaringan Sensor Nirkabel (JSN).....</b>	11
2.3 <b>Konsep Logika Fuzzy .....</b>	12
2.3.1 <b>Model fuzzy.....</b>	14
2.3.2 <b>Operator Fuzzy.....</b>	15
2.4 <b>Metode Fuzzy Mamdani .....</b>	16
2.5 <b>Fungsi keanggotaan.....</b>	17
2.5.1 <b>Representasi Linear Naik .....</b>	17

2.5.2	Representasi Linear Turun.....	18
2.5.3	Representasi Kurva Segitiga .....	18
2.5.4	Representasi Kurva Trapesium .....	19
2.6	Cooja simulator .....	19
2.7	Konsumsi Energi (Powertrace) Di Jaringan Sensor Nirkabel .....	20
2.8	Residual Energi Ratio (RER) Di Jaringan Sensor Nirkabel .....	20
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>21</b>
3.1	Pendahuluan .....	21
3.2	Kerangka Kerja Penelitian .....	21
3.3	Spesifikasi Kebutuhan .....	23
3.3.1	Kebutuhan Pengguna .....	23
3.3.2	Perangkat Lunak yang Digunakan .....	23
3.3.3	Perangkat Keras yang Digunakan.....	23
3.4	Parameter Simulasi .....	23
3.5	Parameter Kinerja E-FEERP ( <i>Enhanced Fuzzy based Energy Efficient Routing Protocol</i> ) .....	25
3.6	Perancangan Algoritma Fuzzy Inference System (FIS).....	26
3.7	Fuzzy Rule Set .....	26
3.8	<i>Fuzzy Logic Mamdani</i> .....	29
3.8.1	Pembentukan himpunan Fuzzy .....	29
3.8.2	Fungsi implikasi .....	35
3.8.3	Komposisi Aturan .....	36
3.8.4	De-fuzzifikasi .....	37
3.9	<i>Parameter Konsumsi Energi (Powertrace)</i> .....	39
3.10	<i>Parameter Fuzzy Yang di Tingkatkan</i> .....	39
3.11	Parameter Residual Energi Ratio (RER) .....	40

<b>BAB IV PEMBAHASAN.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1 Batasan Implementasi.....</b>	<b>41</b>
<b>4.2 Implementasi topologi.....</b>	<b>41</b>
<b>4.3 Implementasi Formasi Cluster.....</b>	<b>41</b>
<b>4.4 Hasil Perhitungan Konsumsi Energi Setiap Cluster Tanpa Menggunakan Metode Fuzzy .....</b>	<b>43</b>
<b>4.5 Hasil Perhitungan Konsumsi Energi Menggunakan Metode Fuzzy (Parameter Powertrace dan RER).....</b>	<b>47</b>
<b>4.6 Grafik Hasil Percobaan .....</b>	<b>53</b>
<b>4.6.1 Grafik dan Persentase Hasil Node Antar Simulasi.....</b>	<b>53</b>
<b>4.6.2 Grafik dan Persentase Hasil Antar Cluster.....</b>	<b>55</b>
<b>4.7 Hasil Perbandingan Konsumsi Energi .....</b>	<b>57</b>
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>	<b>58</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>59</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Representasi Linear Naik .....	17
Gambar 2. 2 Linear turun .....	18
Gambar 2. 3 Kurva segitiga .....	18
Gambar 2. 4 Kurva trapesium .....	19
Gambar 3. 1 Kerangka Kerja .....	22
Gambar 3. 2 Diagram Blok Fuzzy Inference system (FIS).....	26
Gambar 3. 3 Fungsi Masukan Keanggotaan Daya Baterai .....	30
Gambar 3. 4 Fungsi Masukan Keanggotaan Kepadatan Node .....	31
Gambar 3. 5 Fungsi Masukan Keanggotaan Kualitas Komunikasi .....	33
Gambar 3. 6 Fungsi Keanggotaan Keluaran Fuzzy .....	37
Gambar 4. 1 Topologi dengan total 12 node .....	42
Gambar 4. 2 Topologi dengan total 24 node .....	42
Gambar 4. 3 Topologi dengan total 36 node .....	43
Gambar 4. 4 Grafik Simulasi Ke-1 Antar Node .....	53
Gambar 4. 5 Grafik Simulasi Ke-2 Antar Node .....	54
Gambar 4. 6 Grafik Simulasi Ke-3 Antar Node .....	55
Gambar 4. 7 Grafik Simulasi Ke-1 Antar Cluster .....	55
Gambar 4. 8 Grafik Simulasi Ke-2 Antar Cluster .....	56
Gambar 4. 9 Grafik Simulasi Ke-3 Antar Cluster .....	56

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Kebutuhan Perangkat Lunak .....	23
Tabel 3. 2 Kebutuhan Perangkat Keras .....	23
Tabel 3. 3 Parameter Umum Simulasi.....	25
Tabel 3. 4 Tabel Rule Set .....	27
Tabel 4. 1 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 1 Simulasi Ke-1 Tanpa Metode....	43
Tabel 4. 2 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 2 Simulasi Ke-1 Tanpa Metode....	44
Tabel 4. 3 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 3 Simulasi Ke-1 Tanpa Metode....	44
Tabel 4. 4 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 1 Simulasi Ke-2 Tanpa Metode....	44
Tabel 4. 5 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 2 Simulasi Ke-2 Tanpa Metode....	45
Tabel 4. 6 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 3 Simulasi Ke-2 Tanpa Metode....	45
Tabel 4. 7 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 1 Simulasi Ke-3 Tanpa Metode....	45
Tabel 4. 8 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 2 Simulasi Ke-3 Tanpa Metode....	46
Tabel 4. 9 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 3 Simulasi Ke-3 Tanpa Metode....	46
Tabel 4. 10 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 1 Simulasi Ke-1.....	47
Tabel 4. 11 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 2 Simulasi Ke-1.....	47
Tabel 4. 12 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 3 Simulasi Ke-1.....	48
Tabel 4. 13 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 1 Simulasi Ke-2.....	49
Tabel 4. 14 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 2 Simulasi Ke-2.....	49
Tabel 4. 15 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 3 Simulasi Ke-2.....	49
Tabel 4. 16 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 1 Simulasi Ke-3.....	51
Tabel 4. 17 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 2 Simulasi Ke-3.....	51
Tabel 4. 18 Rata-rata Konsumsi energi Cluster 3 Simulasi Ke-3.....	51
Tabel 4. 19 Perbandingan parameter kinerja.....	57

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. LATAR BELAKANG**

Jaringan sensor nirkabel (JSN) terdiri dari ribuan node sensor kecil yang digunakan dalam berbagai aplikasi pemantauan untuk mendeteksi kondisi lingkungan. JSN mengumpulkan dan mengelola data yang terdeteksi dan mengirimkannya ke base station (BS). Karena terbatasnya daya baterai pada node sensor, diperlukan teknik pengumpulan dan transmisi data yang optimal agar jaringan sensor dapat berfungsi seiring waktu panjang.

Protokol perutean untuk konservasi energi dalam jaringan sensor nirkabel (JSN) menggunakan teknik fuzzy yang ditingkatkan adalah solusi yang membantu mengatasi tantangan pengelolaan sumber daya energi sensor yang terbatas dalam jaringan. Jaringan sensor nirkabel (JSN), sensor seringkali memiliki sumber energi yang terbatas dan mahal untuk diganti serta diisi ulang. Masalah pada JSN mencakup penggunaan energi yang tidak efisien, yang dapat mempercepat pengurasan baterai sensor dan memperpendek masa pakai jaringan secara keseluruhan.

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 sumber energi masing-masing sensor. Dengan menggunakan logika fuzzy, sistem dapat mengambil keputusan berdasarkan penilaian yang tidak jelas atau tidak pasti terhadap kondisi jaringan seperti sisa daya, kepadatan lalu lintas, dan kondisi lingkungan. [1]



Keunggulan logika fuzzy dalam konteks ini antara lain kemampuannya menghadapi ketidakpastian dan kompleksitas sistem tidak terstruktur. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti kondisi lingkungan dan tingkat energi yang berfluktuasi, protokol routing logika fuzzy dapat membantu membuat keputusan yang lebih adaptif dan efisien. Fuzzy yang ditingkatkan merupakan pengembangan lebih lanjut atau penyempurnaan dari teknik logika fuzzy tradisional. Salah satu tujuan utama pengembangan fuzzy yang ditingkatkan adalah untuk meningkatkan akurasi, fleksibilitas, dan kinerja sistem yang menggunakan prinsip logika fuzzy.

Peningkatan tersebut dapat dicapai melalui berbagai pendekatan. Salah satu kemungkinannya adalah meningkatkan akurasi model logika fuzzy. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan lebih banyak data saat menentukan fungsi keanggotaan dan aturan fuzzy, sehingga model dapat menghasilkan hasil yang lebih akurat. Selain itu, optimalisasi algoritma fuzzy juga menjadi fokus mengembangkan algoritma fuzzy yang ditingkatkan. Penggunaan algoritma yang lebih efisien dan canggih dapat meningkatkan kinerja sistem logika fuzzy. Hal ini mencakup penggunaan teknik seperti pengoptimalan parameter, penggunaan algoritma genetika, atau penggunaan teknik pembelajaran mesin untuk meningkatkan kecerdasan sistem. [2]

## **1.2. RUMUSAN MASALAH**

1. Bagaimana metode fuzzy dapat ditingkatkan dan diintegrasikan ke dalam protokol routing untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi?
2. Bagaimana penerapan protokol routing mempengaruhi konsumsi energi pada Jaringan Sensor Nirkabel (JSN)?
3. Bagaimana hasil analisis konsumsi energi pada protokol routing?

## **1.3. TUJUAN**

1. Meningkatkan efisiensi penggunaan energi dalam Jaringan Sensor Nirkabel (JSN) dengan mengintegrasikan metode fuzzy ke dalam protokol routing.
2. Memahami dampak dari penerapan protokol routing terhadap konsumsi energi dalam Jaringan Sensor Nirkabel (JSN).
3. Menganalisis serta mengevaluasi konsumsi energi yang dihasilkan menggunakan metode fuzzy.

## **1.4. MANFAAT**

1. Membantu mengembangkan protokol routing yang efisien dalam penggunaan energi dengan menggunakan metode fuzzy.
2. Memberikan pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana protokol routing mempengaruhi konsumsi energi di dalam Jaringan Sensor Nirkabel (JSN).
3. Membantu penerapan metode fuzzy dalam meningkatkan kinerja protokol routing dalam hal penghematan energi.

## **1.5. SISTEMATIKA PENULISAN**

### **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 PEMBAHASAN**

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] I. S. Alshawi, L. Yan, W. Pan, and B. Luo, "A Fuzzy-Gossip routing protocol for an energy efficient wireless sensor networks," *Proc. IEEE Sensors*, pp. 0–3, 2012, doi: 10.1109/ICSENS.2012.6411162.
- [2] E. Ahvar, A. M. Ortiz, and N. Crespi, "Improving decision-making for fuzzy logic-based routing in wireless sensor networks," *Proc. - IEEE 10th Int. Conf. Ubiquitous Intell. Comput. UIC 2013 IEEE 10th Int. Conf. Auton. Trust. Comput. ATC 2013*, pp. 583–588, 2013, doi: 10.1109/UIC-ATC.2013.87.
- [3] V. Narayan, A. K. Daniel, and P. Chaturvedi, "E-FEERP: Enhanced Fuzzy Based Energy Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Network," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 131, no. 1, pp. 371–398, 2023, doi: 10.1007/s11277-023-10434-z.
- [4] D. Xie, Q. Zhou, X. You, B. Li, and X. Yuan, "A novel energy-efficient cluster formation strategy: From the perspective of cluster members," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 17, no. 11, pp. 2044–2047, 2013, doi: 10.1109/LCOMM.2013.100813.131109.
- [5] 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.
- [6] Y. Tao, J. Zhang, and L. Yang, "An unequal clustering algorithm for wireless sensor networks based on interval type-2 tsf fuzzy logic theory," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 197173–197183, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3034607.
- [7] Y. G. Kim and M. J. Lee, "Scheduling multi-channel and multi-timeslot in time constrained wireless sensor networks via simulated annealing and particle swarm optimization," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 1, pp. 122–129, 2014, doi: 10.1109/MCOM.2014.6710073.

- [8] S. Lata, S. Mehfuz, S. Urooj, and F. Alrowais, “Fuzzy Clustering Algorithm for Enhancing Reliability and Network Lifetime of Wireless Sensor Networks,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 66013–66024, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2985495.
- [9] I. Gupta, D. Riordan, and S. Sampalli, “Cluster-head election using fuzzy logic for wireless sensor networks,” *Proc. 3rd Annu. Commun. Networks Serv. Res. Conf.*, vol. 2005, pp. 255–260, 2005, doi: 10.1109/CNSR.2005.27.
- [10] H. Taheri, P. Neamatollahi, O. M. Younis, S. Naghibzadeh, and M. H. Yaghmaee, “An energy-aware distributed clustering protocol in wireless sensor networks using fuzzy logic,” *Ad Hoc Networks*, vol. 10, no. 7, pp. 1469–1481, 2012, doi: 10.1016/j.adhoc.2012.04.004.
- [11] M. Adnan, L. Yang, T. Ahmad, and Y. Tao, “An Unequally Clustered Multi-hop Routing Protocol Based on Fuzzy Logic for Wireless Sensor Networks,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 38531–38545, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3063097.
- [12] M. M. Afsar and M. H. Tayarani-N, “Clustering in sensor networks: A literature survey,” *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 46, pp. 198–226, 2014, doi: 10.1016/j.jnca.2014.09.005.
- [13] K. Akkaya and M. Younis, “A survey on routing protocols for wireless sensor networks,” *Ad Hoc Networks*, vol. 3, no. 3, pp. 325–349, 2005, doi: 10.1016/j.adhoc.2003.09.010.
- [14] P. S. Sahraoui, *S. Sahraoui. Mécanismes de sécurité pour l’intégration des RCSFs à l’IoT (Internet of Things)*. 2016.