

**ANALISIS KONSUMSI ENERGI DAN MASA HIDUP JARINGAN
MENGUNAKAN METODE *LION OPTIMIZATION ALGORITHM* PADA
JARINGAN SENSOR NIRKABEL**

SKRIPSI



**OLEH :
MUHAMMAD FIQIH
09011382025100**

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

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS KONSUMSI ENERGI DAN MASA HIDUP JARINGAN
MENGUNAKAN METODE *LION OPTIMIZATION ALGORITHM* PADA
JARINGAN SENSOR NIRKABEL**

SKRIPSI

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

Oleh :

MUHAMMAD FIQIH

09011382025100

Palembang, 12 Agustus 2024

Ketua Jurusan Sistem Komputer



Dr. Ir. Sukemi, M.T

NIP. 196612032006041001

Pembimbing Tugas Akhir

Huda Ubaya, S.T., M.T

NIP. 1981061620012121003

AUTHENTICATION PAGE

**ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION AND NETWORK LIFETIME
USING LION OPTIMIZATION ALGORITHM METHOD IN WIRELESS
SENSOR NETWORKS**

THESIS

Submitted to Complete one of the Requirements
Obtaining a Bachelor's Degree in Computer Science

By :

MUHAMMAD FIQIH

09011382025100

Palembang, 2nd August 2024

Acknowledged,

Head of Computer System Department

A blue circular stamp of Universitas Sriwijaya, Faculty of Computer Science, Department of Computer Systems. The stamp contains the text 'UNIVERSITAS SRIWIJAYA', 'FAKULTAS ILMU KOMPUTER', and 'JURUSAN SISTEM KOMPUTER'. A handwritten signature in black ink is written over the stamp.

Dr. Ir. Sukemi, M.T
NIP. 196612032006041001

Supervisor

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized letters, written over the supervisor's name.

Huda Ubaya, S.T., M.T
NIP. 1981061620012121003

LEMBAR PERSETUJUAN

Telah di uji dan lulus pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 18 Juli 2024

Tim Penguji :

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

2. Sekretaris : Iman Saladin B. Azhar, M.MSI.

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

4. Penguji : Kemahyanto Exaudi, S.Kom., M.T.



Mengetahui, 12/8/24

Ketua Jurusan Sistem Komputer



Dr. Ir. Sukemi, M.T.
NIP. 196612032006041001

Halaman Pernyataan

Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini :

Nama : Muhammad Fiqih

NIM : 09011382025100

Judul : Analisis Konsumsi Energi dan Masa Hidup Jaringan Menggunakan Metode *Lion Optimization Algorithm* Pada Wireless Sensor Network

Hasil Pengecekan Software *Thenticate/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 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, Agustus 2024



Muhammad Fiqih
Nim. 09011382025100

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan penyertaan-Nya penulis telah diberikan kesehatan, kekuatan, serta kesanggupan sehingga penulis mampu menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini yang berjudul **“Analisis Konsumsi Energi dan Masa Hidup Jaringan Menggunakan Metode *Lion Optimization Algorithm* Pada Wireless Sensor Network ”**.

Dalam penulis Proposal Tugas Akhir ini, penulis masih dalam tahap pembelajaran dan bimbingan. Dengan demikian, penulis menyadari bahwa tanpa bantuan serta petunjuk dari semuapihak, penulis tentu tidak dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini. Pada kesempatan kali ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang Tua penulis, Papa dan Mama, yang selalu memberikan motivasi, doa,serta dukungannya oleh penulis dan menguatkan dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir.
2. Bapak Prof. Dr. Erwin, S.SI,M.SI., selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Ir. Sukemi, M.T., selaku Ketua Jurusan Sistem Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Huda Ubaya, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah berkenan meluangkan waktu dalam membimbing penulis dalam penyusunan Proposal Tugas Akhir.
5. Bapak Ahmad Fali Oklilas,M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis pada Program Studi Sistem Komputer.
6. Ibu Sari Nuzulastri selaku Admin Program Studi Sistem Komputer yang telah membantu administrasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
7. Semua relasi penulis, baik kakak tingkat maupun rekan seangkatan penulis angkatan 2020 yang menjadi teman seperjuangan pada Sistem Komputer, Universitas Sriwijaya.
8. Nanda Ayu Nursalina selaku Pasangan yang telah menemani dari awal kuliah, menemani dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini , dimulai dari

pemberkasan sampai dengan selesai.

9. Teman – teman seperjuangan yang telah memberi tawa dan canda , membantu dalam pengerjaan tugas akhir, Alvin, Niko, Dina, Putri, Winda, dan teman – teman pada Discord DKG.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini belum sampai pada batas sempurna. Maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun serta kemakluman agar penulis semakin berkembang dalam masa pembelajaran. Penulis berharap pula agar Proposal Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan berguna bagi pihak yang terlibat maupun para pembaca,serta bagi penulis sendiri

Palembang, Agustus 2024

Penulis,

Muhammad Fiqih

NIM. 09011382025100

ANALISIS KONSUMSI ENERGI DAN MASA HIDUP JARINGAN MENGUNAKAN METODE LION OPTIMIZATION ALGORITHM PADA JARINGAN SENSOR NIRKABEL

Muhammad Fiqih (09011382025100)

Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya

Email : fiqihpasdot@gmail.com

ABSTRAK

Di era modern yang semakin berkembang ini, jaringan IoT (*Internet of Thing*) telah menjadi era baru pada jaringan IoT bertujuan untuk memperluas pemanfaatan dari konektivitas internet yang tersambung secara terus menerus. *Low Power Lossy Network* merupakan bagian dari jaringan IoT namun mempunyai keterbatasan daya dan paket data yang sering hilang, jangkauan transmisi yang pendek serta *bandwidth* yang rendah dapat menyebabkan pemborosan daya yang terjadi. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus untuk menyelesaikan permasalahan pemborosan daya dan juga paket data yang sering hilang. Dengan menggunakan metode (LOA) *Lion Optimization Algorithm* dapat membuat *Cluster Head* sebagai pembentukan rute antar node jaringan, agar membuat jarak transmisi menjadi lebih dekat sehingga energi yang digunakan lebih sedikit maka paket data yang berhasil diterima lebih maksimal. Parameter yang digunakan pada penelitian ini ada 2 yaitu *Network Lifetime* dan *Packet Delivery Ratio* (PDR). Hasil dari penggunaan metode LOA yaitu sisa energi yang tersisa setelah node sender dan node sink berkomunikasi mengirimkan data selama 1 jam sebesar 1,204 mJ, *Network Lifetime* bertambah dikarenakan energi yang digunakan lebih sedikit sehingga menyebabkan *Network Lifetime* menjadi 2354,7 detik dan untuk PDR semakin meningkat dengan mengirimkan data lebih banyak lagi sehingga menjadi 100 % atau berhasil terkirim semua dari node sender kepada node sink.

Kata Kunci : *Internet of Thing*, *Low Power Lossy Network*, *Cluster Head*, *Network LifeTime*, *Packet Delivery Ratio*

ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION AND NETWORK LIFETIME USING LION OPTIMIZATION ALGORITHM METHOD IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

Muhammad Fiqih (090113820251000)

Dept. of Computer System Faculty of Computer Science, Universitas Sriwijaya

Email : fiqihpasdot@gmail.com

ABSTRACT

In this growing modern era, IoT (Internet of Thing) networks have become a new era in IoT networks aimed at expanding the utilization of internet connectivity that is connected continuously. Low Power Lossy Network is part of the IoT network but has limited power and data packets are often lost, short transmission range and low bandwidth can cause waste of power that occurs. Therefore, this research focuses on solving the problem of power wastage and also data packets that are often lost. By using the Lion Optimization Algorithm (LOA) method, it can create a Cluster Head as a route formation between network nodes, in order to make the transmission distance closer so that the energy used is less, the data packets that are successfully received are maximized. There are 2 parameters used in this study, namely Network Lifetime and Packet Delivery Ratio (PDR). The results of using the LOA method are the remaining energy left after the sender node and sink node communicate sending data for 1 hour of 1,204 mJ, Network Lifetime increases due to less energy used, causing Network Lifetime to be 2354.7 seconds and for PDR to increase by sending more data so that it becomes 100% or successfully sent all from the sender node to the sink node.

Keywords: *Internet of Thing, Low Power Lossy Network, Cluster Head, Network Life Time, Packet Delivery Ratio*

DAFTAR ISI

| | HALAMAN |
|--|---------|
| KATA PENGANTAR..... | vi |
| DAFTAR ISI..... | x |
| DAFTAR GAMBAR..... | xii |
| DAFTAR TABEL..... | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1. Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2. Perumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3. Tujuan..... | 2 |
| 1.4. Manfaat..... | 3 |
| 1.5. Sistematika Penulisan..... | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1. Penelitian Terkait..... | 5 |
| 2.1.1 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks (RPL)..... | 9 |
| 2.2 Terminologi RPL..... | 10 |
| 2.2.1. <i>Objective Function</i> (OF)..... | 12 |
| 2.2.2 <i>Algoritma Trickle</i> | 12 |
| 2.2.3 Sistem Model..... | 13 |
| 2.3 <i>Lion Optimization Algorithm</i> | 13 |
| 2.3.1 <i>Cluster Formation</i> | 13 |
| 2.3.2 Seleksi <i>Cluster Head</i> menggunakan LOA..... | 14 |
| 2.3.3 AlgoritmaSeleksi <i>Cluster Head</i> LOA..... | 14 |
| 2.3.4 Kerangka Kerja LOA - RPL..... | 15 |
| 2.3.5 Parameter Simulasi..... | 16 |
| 2.3.6 Penetapan Route..... | 17 |
| 2.3.7 <i>Objective Function</i> (OF)..... | 17 |
| 2.3.8 Perhitungan Peringkat Cluster..... | 18 |
| 2.4. <i>Network Lifetime</i> | 18 |
| 2.5. Packet Delivery Ratio (PDR)..... | 19 |

| | |
|--|-----------|
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 20 |
| 3.1 Pendahuluan | 20 |
| 3.2 Kerangka Kerja Penelitian | 20 |
| 3.2.1 Instalasi <i>Virtual Machine</i> | 21 |
| 3.2.2 Instalasi dan Inisialisasi Contiki Cooja | 21 |
| 3.2.3 Membuat Koneksi UDP (<i>User Data Protocol</i>) | 21 |
| 3.2.4 Proses Data | 22 |
| 3.2.5 Hasil dari pemrosesan data..... | 22 |
| 3.3 Nilai Parameter Kinerja | 22 |
| 3.3.1 Parameter Kinerja <i>Network Lifetime</i> | 22 |
| 3.3.2 Parameter Kinerja PDR..... | 23 |
| BAB IV PEMBAHASAN..... | 24 |
| 4.1 Hasil File Capture Contiki Cooja | 24 |
| 4.1.1 Formasi Cluster..... | 24 |
| 4.2 Seleksi <i>Cluster Head</i> Tanpa Menggunakan <i>Lion Optimization Algorithm</i> | 25 |
| 4.2.1 <i>Network Lifetime</i> Tanpa LOA | 28 |
| 4.2.2 <i>Packet Delivery Ratio</i> Tanpa LOA | 29 |
| 4.3 Seleksi <i>Cluster Head</i> Menggunakan <i>Lion Optimization Algorithm</i> | 32 |
| 4.3.1 <i>Network Lifetime</i> Menggunakan LOA | 35 |
| 4.3.2 Rasio Pengiriman Paket <i>Lion Optimization Algorithm</i> | 35 |
| 4.4 Perbandingan Residual Energi, <i>Network Lifetime</i> Dan <i>Packet Delivery Ratio</i>..... | 39 |
| BAB V KESIMPULAN..... | 41 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 42 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Osi Layer | 9 |
| Gambar 2.2 Arus Trafik RPL | 12 |
| Gambar 2.3 Algoritma Seleksi CH LOA..... | 15 |
| Gambar 2.4 Kerangka Kerja LOA-RPL | 16 |
| Gambar 3.1 Implementasi RPL pada Contiki | 20 |
| Gambar 4.1 OS RPL Contiki 3.0 | 24 |
| Gambar 4.2 Formasi Cluster | 25 |
| Gambar 4.3 Network Sensor Data Collect Cluster 1 | 29 |
| Gambar 4.4 Network Sensor Data Collect Cluster 2..... | 30 |
| Gambar 4.5 Network Sensor Data Collect Cluster 3..... | 31 |
| Gambar 4.6 Network Sensor Data Collect Cluster 4..... | 31 |
| Gambar 4.7 Simulasi Contiki Cooja Menggunakan LOA..... | 32 |
| Gambar 4.8 Network Sensor Data Collect Cluster 1 LOA..... | 36 |
| Gambar 4.9 Network Sensor Data Collect Cluster 2 LOA..... | 36 |
| Gambar 4.10 Network Sensor Data Collect Cluster 3 LOA..... | 37 |
| Gambar 4.11 Network Sensor Data Collect Cluster 4 LOA..... | 38 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Penelitian Terkait | 6 |
| Tabel 2.2 Fitur Routing Protocol | 10 |
| Tabel 2.3 Parameter simulasi | 17 |
| Tabel 4.1 Rata – Rata Residual Energi Cluster 1 | 26 |
| Tabel 4.2 Rata – Rata Residual Energi Cluster 2 | 26 |
| Tabel 4.3 Rata – Rata Residual Energi Cluster 3 | 26 |
| Tabel 4.4 Rata – Rata Residual Energi Cluster 4 | 27 |
| Tabel 4.5 Rata – Rata Residual Energi Cluster 1 LOA | 33 |
| Tabel 4.6 Rata – Rata Residual Energi Cluster 2 LOA | 33 |
| Tabel 4.7 Rata – Rata Residual Energi Cluster 3 LOA | 33 |
| Tabel 4.8 Rata – Rata Residual Energi Cluster 4 LOA | 34 |
| Tabel 4.9 Perbandingan Parameter Kinerja | 39 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Di era modern yang semakin berkembang ini, jaringan IoT (*Internet of Thing*) telah menjadi era baru pada jaringan IoT bertujuan untuk memperluas pemanfaatan dari konektivitas internet yang tersambung secara terus menerus. Namun Jaringan IoT memerlukan sistem keamanan yang ketat dan juga biaya yang mahal . Munculnya teknologi IoT yang telah memberikan jenis jaringan baru yaitu *Low-Power dan Lossy Network* .[1]

LLN (*Low Power and Lossy Network*) adalah jaringan IoT yang berisi ribuan perangkat yang terhubung ke Internet. Jaringan ini digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pengukuran cerdas, otomatisasi Gedung dan jaringan pintar. Untuk memenuhi persyaratan LLN, metode komunikasi baru untuk mentransfer data dari satu tempat ke tempat lain harus dikembangkan [2]

LLN memiliki banyak batasan, tidak hanya perangkat yang dibatasi sumber daya, yang dicirikan oleh memori, daya, kemampuan komputasi yang terbatas, dan juga link komunikasi yaitu, bandwidth rendah, dan jangkauan transmisi pendek,,yang menyebabkan kehilangan paket yang tinggi, penundaan end-to-end yang rendah, konsumsi energi yang tinggi, dan throughput yang rendah, dengan berbagai studi yang menunjukkan bahwa RPL memiliki keterbatasan dan kelemahan yang mempengaruhi kinerja jaringan [3].

Sebagian besar masalah yang dialami oleh LLN daya yang berlebihan , jarak transmisi yang pendek sehingga tidak dapat menjangkau lebih jauh yang menyebabkan penggunaan daya yang berlebih dan juga berpotensi kehilangan paket data pada proses pengiriman . Maka LOA (*Lion Optimization Algorithm*) digunakan untuk memilih *Cluster Head* sebagai pembentukan rute yang dapat membantu menghemat energi dan memperpanjang lifetime sebuah jaringan [4] .

PDR (*Packet Delivery Ratio*) digunakan untuk menghitung persentase jumlah total paket yang berhasil dikirim untuk menghindari kehilangan paket yang dapat membuat kinerja jaringan menjadi tidak baik . [5]

1.2. Perumusan Masalah

Penggunaan energi yang berlebihan pada *Low Power Lossy Network* yang disebabkan oleh sumber daya yang terbatas ,bandwidth rendah,jangkauan transmisi yang pendek dapat membuat masa hidup jaringan akan menjadi lebih singkat karena konsumsi energi yang tinggi dan berpengaruh kepada performa , dan juga paket yang diterima tidak sesuai dengan total paket yang telah dikirimkan. Untuk protocol yang digunakan adalah RPL (*Routing Protocol*) untuk menentukan jalur terbaik dalam hal pengiriman data dari node sender menuju node sink, Maka diusulkan penggunaan LOA untuk melakukan pemilihan *Cluster Head* sebagai pembentukan rute yang dapat menghemat energi dengan membuat jarak transmisi lebih pendek untuk meningkatkan *Network Lifetime* , dan juga menghitung PDR yang dikirim dan diterima untuk mengurangi jumlah paket lost pada suatu jaringan [4] .

1.3. Tujuan

Pada bagian ini akan menjelaskan tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Menganalisis dan memilih *Cluster Head* dengan cara menghitung sisa energi dengan membuat rute pada tiap-tiap cluster
2. Mengurangi penggunaan energi dan menambah *Network Lifetime* untuk meningkatkan kualitas jaringan LLN
3. Menghitung PDR untuk melihat persentase keberhasilan suatu jaringan dalam pengiriman paket dari node sender menuju ke node sink atau tempat pengumpulan data dalam RPL

1.4. Manfaat

Manfaat yang akan dicapai pada penelitian ini akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Dapat membuat rute terbaik dengan melihat sisa energi dari tiap – tiap cluster agar dapat membuat jarak transmisi lebih pendek yang akan menghemat energi dan meningkatkan kualitas jaringan .
2. Dapat membuat *Network Lifetime* menjadi lebih lama dengan konsumsi energi yang sebelumnya memakan banyak energi tetapi setelah menggunakan LOA akan mengurangi konsumsi energi dan menambah waktu dari jaringan tersebut .
3. Dapat meningkatkan persentase keberhasilan dari paket yang dikirim dan yang diterima dengan menghitung jumlah paket yang diterima dibagi paket yang dikirim.

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] N. K. Prasiani, P. Darmawan, and B. Bali, "IMPLEMENTASI INTERNET OF THINGS DALAM KEHIDUPAN SEHARI-HARI," vol. 2, no. 1, pp. 35–40, 2022.
- [2] G. Gautham Krishna, G. Krishna, and N. Bhalaji, "Analysis of Routing Protocol for Low-power and Lossy Networks in IoT Real Time Applications," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 87, no. December 2016, pp. 270–274, 2016, doi: 10.1016/j.procs.2016.05.160.
- [3] K. A. Darabkh, M. Al-Akhras, J. N. Zomot, and M. Atiquzzaman, "RPL routing protocol over IoT: A comprehensive survey, recent advances, insights, bibliometric analysis, recommendations, and future directions," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 207, no. July 2021, p. 103476, 2022, doi: 10.1016/j.jnca.2022.103476.
- [4] S. Sennan, S. Ramasubbareddy, A. Nayyar, Y. Nam, and M. Abouhawwash, "LOA-RPL: Novel energy-efficient routing protocol for the internet of things using *Lion Optimization Algorithm* to maximize *Network Lifetime*," *Comput. Mater. Contin.*, vol. 69, no. 1, pp. 351–371, 2021, doi: 10.32604/cmc.2021.017360.
- [5] P. Magister, K. Komputasi, B. Jaringan, J. T. Informatika, and F. T. Informasi, "Peningkatan *Network Lifetime* pada Wireless Sensor Network dengan Menggunakan Clustered Shortest Geopath Routing (C-SGP)," 2017.
- [6] A. Duarte Alonso, Kok, SK, and S. O Brien, "LJMU Research Online m," *Tour. Recreat. Res.*, p. 19, 2018, [Online]. Available: <http://researchonline.ljmu.ac.uk/id/eprint/8705/>
- [7] P. K. H. Kulkarni and P. Malathi, "Pfuzzyaco: Fuzzy-based optimization approach for energy-aware *Cluster Head* selection in WSN," *J. Internet*

- Technol.*, vol. 20, no. 6, pp. 1787–1800, 2019, doi:
10.3966/160792642019102006010.
- [8] H. Bouzebiba and M. Lehsaini, “FreeBW-RPL: A New RPL Protocol Objective Function for Internet of Multimedia Things,” *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 112, no. 2, pp. 1003–1023, 2020, doi: 10.1007/s11277-020-07088-6.
- [9] B. Rambabu, A. Venugopal Reddy, and S. Janakiraman, “Hybrid Artificial Bee Colony and Monarchy Butterfly Optimization Algorithm (HABC-MBOA)-based *Cluster Head* selection for WSNs,” *J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci.*, vol. 34, no. 5, pp. 1895–1905, 2022, doi: 10.1016/j.jksuci.2019.12.006.
- [10] H. S. Kim, J. Ko, D. E. Culler, and J. Paek, “Challenging the IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks (RPL): A Survey,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 19, no. 4, pp. 2502–2525, 2017, doi: 10.1109/COMST.2017.2751617.
- [11] S. D. Muruganathan, D. C. F. Ma, R. I. Bhasin, and A. O. Fapojuwo, “A centralized energy-efficient routing protocol for wireless sensor networks,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 43, no. 3, 2005, doi: 10.1109/MCOM.2005.1404592.
- [12] W. N. W. Muhamad *et al.*, “Maximizing *Network Lifetime* with energy efficient routing protocol for wireless sensor networks,” *5th Int. Conf. MEMS NANO, Smart Syst. ICMENS 2009*, no. May 2016, pp. 225–228, 2009, doi: 10.1109/ICMENS.2009.35.
- [13] S. Begdillo, M. Asadi, and A. T. Haghghat, “Improving packet delivery ratio in odmrp with route diversity,” *Int. J. Comput. Sci. Netw. Secur.*, vol. 7, no. 12, pp. 146–151, 2007.

- [14] Sharad, E. N. Kaur, and I. K. Aulakh, "Evaluation and implementation of *Cluster Head* selection in WSN using Contiki/Cooja simulator," *J. Stat. Manag. Syst.*, vol. 23, no. 2, pp. 407–418, 2020, doi: 10.1080/09720510.2020.1736324.
- [15] S. Thombre, R. Ul Islam, K. Andersson, and M. S. Hossain, "IP based wireless sensor networks: Performance analysis using simulations and experiments," *J. Wirel. Mob. Networks, Ubiquitous Comput. Dependable Appl.*, vol. 7, no. 3, pp. 53–76, 2016.