

**ANALISIS EFISIENSI ENERGI RPL PADA JARINGAN
SENSOR NIRKABEL MENGGUNAKAN METODE REFER**

SKRIPSI



OLEH :

TRI WINDARI

09011382025104

JURUSAN SISTEM KOMPUTER

FAKULTAS ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS EFISIENSI ENERGI RPL PADA JARINGAN SENSOR
NIRKABEL MENGGUNAKAN METODE REFER**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer

OLEH :

TRI WINDARI

09011382025104

Palembang, ¹² Agustus 2024

Mengetahui,

Ketua Jurusan Sistem Komputer



Dr. Ir. H. Sukemi, M.T

NIP. 196612032006041001

Pembimbing Tugas Akhir



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

NIP. 1981061620012121003

LEMBAR PERSETUJUAN

Telah diuji dan lulus pada :

Hari : Kamis

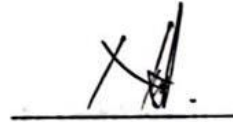
Tanggal : 18 Juli 2024

Tim Penguji :

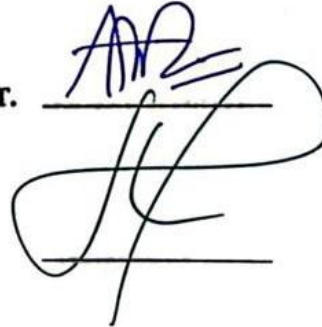
1. Ketua : Kemahyanto Exaudi, S.Kom.,M.T.



2. Sekretaris : Nurul Afifah, M.Kom.



3. Penguji : Aditya Putra Perdana Prasetyo, M.T.



4. Pembimbing : Huda Ubaya, S.T.,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 : Tri Windari

NIM : 09011382025104

Judul : Analisis Efisiensi Energi RPL Pada Jaringan Sensor Nirkabel
Menggunakan Metode REFER

Hasil Pengecekan Software *iThenticate/Turnitin* : 8%

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

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



Palembang, Agustus 2024

Yang menyatakan



Tri Windari

NIM. 09011382025104

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan penyertaan-Nya penulis telah diberikan kesehatan, kekuatan, serta kesanggupan sehingga penulis mampu menyelesaikan Skripsi ini yang berjudul “Analisis Efisiensi Energi RPL Pada Jaringan Sensor Nirkabel Menggunakan Metode REFER”.

Tujuan dari penulisan Skripsi ini adalah untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana komputer di jurusan Sistem Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan serta petunjuk dari semua pihak, penulis tentu tidak dapat menyelesaikan Skripsi ini. Pada kesempatan kali ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Kedua Orang Tua dan Keluarga, yang selalu memberikan motivasi, doa,serta dukungannya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
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 Ahmad Heryanto,S.KOM,M.T selaku Dosen Pembimbing Akademik Penulis.
5. Bapak Huda Ubaya, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah berkenan meluangkan waktu dalam membimbing penyusunan Tugas Akhir.
6. Ibu Sari Nuzulastri selaku Admin Program Studi Sistem Komputer yang telah membantu dalam hal administrasi.
7. Seluruh dosen, staff, serta karyawan Fakultas Ilmu Komputer yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.
8. M. Bayu Prasetya yang menjadi support system dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dan teman seperjuangan Putri, Nanda, Fiqih, Niko yang

telah berkontribusi dalam penulisan sehingga bisa selesai dengan baik.

9. Semua rekan-rekan Angkatan 2020 Jurusan Sistem Komputer, Universitas Sriwijaya.
10. Almamater Universitas Sriwijaya.

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

Palembang, Agustus 2024

Penulis,

TRI WINDARI

NIM. 09011382025104

ANALISIS EFISIENSI ENERGI RPL PADA JARINGAN SENSOR NIRKABEL MENGGUNAKAN METODE REFER

Tri Windari (09011382025104)
Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya
Email : 09011382025104@student.unsri.ac.id

ABSTRAK

Routing Protokol (RPL) yang dirancang khusus untuk jaringan dengan daya rendah dan kehilangan yang tinggi, seperti *Jaringan Sensor Nirkabel*. RPL dapat dioptimalkan untuk *Efisiensi Energi*, Karena sumber daya yang terbatas dan lemah koneksi, memungkinkan terjadinya pemutusan hubungan jaringan cukup tinggi. Hal ini akan menyebabkan kerugian yang diakibatkannya lebih banyak jumlah konsumsi energi di node untuk mentransmisikan ulang paket-paket tersebut. Dalam hal ini, *Reliable and Energy-Efficient RPL (REFER)* mencoba untuk meningkatkan energi efisiensi node dan meningkatkan keandalan komunikasi dengan menggunakan metrik yang berbeda. Hasil dari penelitian ini membuktikan bahwa metode REFER dapat meningkatkan komunikasi dalam jaringan dan dapat mengurangi jumlah energi yang dikonsumsi dengan *jarak antara cluster 1 dan 2* sebesar 36.76 m, *jarak antara cluster 3 dan 4* sebesar 33.42 m, nilai *ETX* 1, *ELT* 3.602 detik, dan rasio *PDR* 100%.

Kata Kunci : RPL, Jaringan Sensor Nirkabel, Efisiensi Energi, *Reliable and Energy-Efficient RPL (REFER)*.

ANALYSIS OF RPL ENERGY EFFICIENCY IN WIRELESS SENSOR NETWORKS USING REFER METHOD

Tri Windari (09011382025104)

*Department of Computer Systems, Faculty of Computer Science,
Sriwijaya University*

Email : 09011382025104@student.unsri.ac.id

ABSTRACT

A routing protocol (RPL) specifically designed for networks with low power and high loss, such as Wireless Sensor Networks. RPL can be optimized for Energy Efficiency, due to limited resources and weak connections, the probability of network disconnection is quite high. This will cause losses resulting in more amount of energy consumption at the nodes to retransmit the packets. In this regard, Reliable and Energy-Efficient RPL (REFER) attempts to improve the energy efficiency of nodes and enhance the reliability of communication by using different metrics. The results of this study prove that the REFER method can improve communication in the network and can reduce the amount of energy consumed with a distance between clusters 1 and 2 of 36.76 m, a distance between clusters 3 and 4 of 33.42 m, an ETX value of 1, an ELT of 3.602 seconds, and a PDR ratio of 100%.

Keywords : *RPL, Wireless Sensor Network, Energy Efficiency, Reliable and Energy-Efficient RPL (REFER).*

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terkait.....	5
2.2 Kajian Puastaka.....	13
2.2.1 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks (RPL)	13
2.2.2 Pengertian RPL.....	14
2.2.3 Traffic flows yang didukung oleh RPL.....	17
2.2.4 Routing metrics dan constraints	17
2.2.5 Objective Function.....	20
2.2.6 MRHOF.....	20
2.2.7 Metode REFER	20

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Pendahuluan.....	22
3.2 Kerangka Kerja Penelitian	22
3.3 Nilai Parameter Simulasi	24
3.4 Nilai Parameter Kinerja	24
3.4.1 Parameter kinerja Packet Delivery Ratio (PDR).....	24
3.5 Algoritma REFER	25
BAB IV PEMBAHASAN	26
4.1 Hasil File Capture	26
4.2 Formasi Cluster.....	26
4.3 Menghitung Jarak Cluster.....	27
4.4 Menghitung ETX.....	28
4.5 Menghitung Expected Life-Time (ELT).....	30
4.6 Menghitung Jarak Cluster menggunakan REFER	34
4.7 Menghitung ETX menggunakan REFER	35
4.8 Menghitung Expected Life-Time (ELT) menggunakan REFER...	38
4.9 Parameter Kinerja Packet Delivery Ratio (PDR) Sebelum menggunakan REFER	42
4.10 Parameter Kinerja Packet Delivery Ratio (PDR) menggunakan REFER.....	42
4.11 Analisis Perbandingan Terhadap Expected Transmission count, Expected Life-Time Dan Packet Delivery Ratio.....	43
BAB V KESIMPULAN	45
DAFTAR PUSTAKA.....	46

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 OSI Layer	13
Gambar 2. 2 Arus Traffic.....	16
Gambar 3. 1 Kerangka Kerja Penelitian.....	23
Gambar 4. 1 Simulasi menggunakan Contiki Cooja	26
Gambar 4. 2 Formasi Cluster sebelum REFER.....	27
Gambar 4. 3 Koordinat pada Cluster 1 dan cluster 2	27
Gambar 4. 4 Koordinat pada Cluster 3 dan Cluster 4	28
Gambar 4. 5 Sensor Data collec Cluster 1.....	29
Gambar 4. 6 Sensor Data collec Cluster 2.....	29
Gambar 4. 7 Sensor Data collec Cluster 3.....	29
Gambar 4. 8 Sensor Data collec Cluster 4.....	30
Gambar 4. 9 koordinat pada Cluster 1 dan Cluster 2	34
Gambar 4. 10 koordinat pada Cluster 3 dan Cluster 4	35
Gambar 4. 11 Sensor Data collec Cluster 1.....	36
Gambar 4. 12 Sensor Data collec Cluster 2.....	36
Gambar 4. 13 Sensor Data collec Cluster 3.....	37
Gambar 4. 14 Sensor Data collec Cluster 4.....	37

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Rangkuman penelitian terkait.....	7
Tabel 2. 2 Nilai parameter simulasi.....	24
Tabel 3. 1 Algoritma REFER.....	25
Tabel 4. 1 Data Packet Lost dan Total Transmisi.....	28
Tabel 4. 2 Data rata-rata Energi per-cluster.....	31
Tabel 4. 3 Data Total energi pada simulasi contiki cooja.....	31
Tabel 4. 4 Data Total energi pada simulasi contiki cooja.....	32
Tabel 4. 5 Data Total energi pada simulasi contiki cooja.....	32
Tabel 4. 6 Data Total energi pada simulasi contiki cooja.....	33
Tabel 4. 7 Data Packet Lost dan Total Transmisi	35
Tabel 4. 8 Data rata-rata Energi per-cluster.....	38
Tabel 4. 9 Data Total energi pada simulasi contiki cooja.....	38
Tabel 4. 10 Data Total energi pada simulasi contiki cooja.....	39
Tabel 4. 11 Data Total energi pada simulasi contiki cooja	40
Tabel 4. 12 Data Total energi pada simulasi contiki cooja.....	40
Tabel 4. 13 Perbandingan Parameter Kinerja yang dihasilkan.....	43

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi IoT telah memunculkan jenis jaringan khusus baru yang disebut Low-Power and Lossy Net Works (LLNs). LLN memiliki banyak batasan, termasuk tidak hanya perangkat yang dibatasi sumber daya, yang ditandai dengan memori terbatas, daya, dan kemampuan komputasi, tetapi juga tautan komunikasi (yaitu, bandwidth rendah, jangkauan transmisi pendek, dan topologi jaringan yang berubah secara dinamis karena mobile node), yang menyebabkan packet loss tinggi, delay end-to-end rendah, konsumsi energi tinggi, dan throughput rendah wireless sensor nirkabel (WSN) memainkan peran penting dalam asal mula dan pengembangan IoT [1].

Infrastruktur Internet of Things (IoT) bergantung pada komunikasi antara sejumlah besar perangkat tertanam dengan sumber daya terbatas, yaitu kemampuan pemrosesan yang terbatas, kecepatan data yang rendah, catu daya yang terbatas, di lingkungan yang keras dan dinamis. Ini digunakan perangkat tertanam, yang biasanya dilengkapi dengan sensor, dan modul komunikasi nirkabel, adalah kuncinya komponen utama dari infrastruktur IoT [2],[3]. Biasanya, IoT lingkungan terdiri dari tautan yang lemah dan tidak dapat diandalkan dan bandwidth rendah, yang menyebabkan kehilangan paket yang tinggi dan sering pemutusan komunikasi antara jaringan elemen. Oleh karena itu, IoT telah ditempatkan pada tempat yang lebih luas jaringan, yang disebut sebagai [4]. Karena sumber daya yang terbatas dan lemah koneksi, kemungkinan terjadinya pemutusan hubungan jaringan cukup tinggi. Hal ini akan menyebabkan kerugian yang diakibatkannya paket dan lebih banyak jumlah konsumsi energi di node untuk mentransmisikan ulang paket-paket tersebut [5],[6],[7].

Tantangan yang disebutkan sebelumnya harus dikontrol dengan menggunakan teknologi dan komunikasi yang efisien. Sementara itu, prosedur routing yang ada di antara perangkat jaringan merupakan masalah yang penting. [8]. Standar ini dikenal sebagai Routing Protokol for Low-Power and Lossy Networks (RPL). Routing Protokol yang dirancang khusus untuk jaringan dengan daya rendah dan kehilangan yang tinggi, seperti Jaringan Sensor Nirkabel. RPL dapat dioptimalkan untuk efisiensi energi, Karena sumber daya yang terbatas dan lemah koneksi, memungkinkan terjadinya pemutusan hubungan jaringan cukup tinggi. Saat ini perangkat IoT menggunakan standar RPL untuk mentransmisikannya paket data menuju tujuan mereka. Untuk menyediakan sebuah kemampuan pengalamatan untuk perangkat jaringan, RPL menggunakan pengalamatan Ipv6. Dengan demikian, RPL mampu membangun topologi mesh yang kuat, yang menghubungkan sejumlah besar node dalam jaringan. Protokol perutean ini mendukung pola lalu lintas yang berbeda, yaitu, Poin ke Poin (P2P), Point to Multi-Point (P2MP), dan Multi-Point to Point (MP2P).

Oleh karena itu, keandalan perutean, yang disebut sebagai jumlah total keberhasilan transmisi yang berhasil dalam jaringan sangat penting [9]. Untuk menjaga keandalan jaringan LLN setinggi mungkin, transmisi yang gagal harus ditransmisikan ulang berulang kali lagi sampai paket-paket tersebut berhasil dikirim. Di sisi lain, operasi ini dapat membebankan konsumsi energi ekstra ke node dan mengancam masa pakai node. Proses pemilihan jalur yang sesuai untuk merutekan paket dalam jaringan sangat penting. Dalam hal ini, Reliable and Energy-Efficient RPL (REFER) tidak hanya mencoba untuk meningkatkan energi efisiensi node, tetapi mencoba untuk meningkatkan keandalan komunikasi dengan menggunakan metrik yang berbeda seperti jarak euclidean, Expected Transmission Count (ETX), Expected Lifetime (ELT), dan Packet Delivery Ratio (PDR) [10].

1.2 Rumusan Masalah

Kehilangan banyak paket dalam jaringan merupakan masalah yang sering terjadi pada RPL dikarenakan pememilih jalur yang kurang optimal di antara setiap node, sehingga diperlukan transmisi ulang. Namun transmisi ulang ini menimbulkan masalah dengan konsumsi energi, maka dari itu diperlukan suatu metode yang berguna untuk mengurangi konsumsi energi salah satunya dengan metode REFER.

1.3 Tujuan

1. Untuk mengurangi overhead dari pesan yang ditransmisikan dan menyediakan koneksi yang lebih stabil
2. Untuk meningkatkan komunikasi dalam jaringan, sementara itu juga dapat mengurangi jumlah energi yang dikonsumsi.

1.4 Manfaat

1. Meningkatkan efisiensi energi dari node
2. Memprioritaskan koneksi ke node
3. Dapat bermanfaat dalam hal pengurangan konsumsi energi node

1.5 Sistematika Penulisan

Bab I Pendahuluan

Bab ini berisi mengenai latar belakang penelitian yang dilakukan seperti ,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

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

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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. June, p. 103476, 2022, doi: 10.1016/j.jnca.2022.103476.
- [2] F. Samie, L. Bauer, and J. Henkel, “From cloud down to things: An overview of machine learning in internet of things,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 6, no. 3, pp. 4921–4934, 2019, doi: 10.1109/JIOT.2019.2893866.
- [3] J. Henkel, S. Pagani, H. Amrouch, L. Bauer, and F. Samie, “Ultra-low power and dependability for IoT devices (Invited paper for IoT technologies),” *Proc. 2017 Des. Autom. Test Eur. DATE 2017*, no. March, pp. 954–959, 2017, doi: 10.23919/DATE.2017.7927129.
- [4] B. Safaei, A. A. Mohammad Salehi, A. M. Hosseini Monazzah, and A. Ejlali, “Effects of RPL objective functions on the primitive characteristics of mobile and static IoT infrastructures,” *Microprocess. Microsyst.*, vol. 69, no. June, pp. 79–91, 2019, doi: 10.1016/j.micpro.2019.05.010.
- [5] B. Safaei, A. M. H. Monazzah, T. Shahroodi, and A. Ejlali, “Objective function: A key contributor in Internet of Things primitive properties,” *CSI Int. Symp. Real-Time Embed. Syst. Technol. RTEST 2018*, no. May, pp. 39–46, 2018, doi: 10.1109/RTEST.2018.8397077.
- [6] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, “Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2444095.
- [7] P. Sadeghi, B. Safaei, K. Talaei, A. M. Hosseini Monazzah, and A. Ejlali, “Towards a Reliable Modulation and Encoding Scheme for Internet of Things Communications,” *13th IEEE Int. Conf. Appl. Inf. Commun. Technol.*

AICT 2019 - Proc., no. October, 2019, doi: 10.1109/AICT47866.2019.8981775.

- [8] A. Hoseinghorban, A. M. H. Monazzah, M. Bazzaz, B. Safaei, and A. Ejlali, "COACH: Consistency Aware Check-Pointing for Nonvolatile Processor in Energy Harvesting Systems," *IEEE Trans. Emerg. Top. Comput.*, vol. 9, no. 4, pp. 2076–2088, 2021, doi: 10.1109/TETC.2019.2961007.
- [9] L. Bartolozzi, T. Pecorella, and R. Fantacci, "ns-3 RPL module: IPv6 Routing Protocol for Low power and Lossy Networks," no. July, pp. 59–66, 2012, doi: 10.4108/icst.simutools.2012.247718.
- [10] B. Safaei, A. M. H. Monazzah, M. B. Bafroei, and A. Ejlali, "Reliability side-effects in Internet of Things application layer protocols," *2017 2nd Int. Conf. Syst. Reliab. Safety, ICSRS 2017*, vol. 2018-Janua, no. December, pp. 207–212, 2018, doi: 10.1109/ICSRS.2017.8272822.
- [11] S. R. Lalani, A. A. M. Salehi, H. Taghizadeh, B. Safaei, A. M. H. Monazzah, and A. Ejlali, "REFER: A Reliable and Energy-Efficient RPL for Mobile IoT Applications," *Proc. RTEST 2020 - 3rd CSI/CPSSI Int. Symp. Real-Time Embed. Syst. Technol.*, no. March, 2020, doi: 10.1109/RTEST49666.2020.9140135.
- [12] O. Gaddour, A. Koubâa, and M. Abid, "Quality-of-service aware routing for static and mobile IPv6-based low-power and lossy sensor networks using RPL," *Ad Hoc Networks*, vol. 33, no. November 2020, pp. 233–256, 2015, doi: 10.1016/j.adhoc.2015.05.009.
- [13] B. Safaei, A. A. M. Salehi, M. Shirbeigi, A. M. H. Monazzah, and A. Ejlali, "Pedal: Power-delay product objective function for internet of things applications," *Proc. ACM Symp. Appl. Comput.*, vol. Part F1477, no. December 2018, pp. 892–895, 2019, doi: 10.1145/3297280.3297565.
- [14] F. Samie, S. Paul, L. Bauer, and J. Henkel, "Highly efficient and accurate seizure prediction on constrained IoT devices," *Proc. 2018 Des. Autom. Test Eur. Conf. Exhib. DATE 2018*, vol. 2018-Janua, no. March, pp. 955–960, 2018, doi: 10.23919/DATE.2018.8342147.

- [15] H. Fotouhi, D. Moreira, and M. Alves, “MRPL: Boosting mobility in the Internet of Things,” *Ad Hoc Networks*, vol. 26, no. November, pp. 17–35, 2015, doi: 10.1016/j.adhoc.2014.10.009.
- [16] N. M. Shakya, M. Mani, and N. Crespi, “SEEOF: Smart energy efficient objective function: Adapting RPL objective function to enable an IPv6 meshed topology solution for battery operated smart meters,” *GIoTS 2017 - Glob. Internet Things Summit, Proc.*, no. October, 2017, doi: 10.1109/GIOTS.2017.8016252.
- [17] I. El Korbi, M. Ben Brahim, C. Adjih, and L. A. Saidane, “Mobility enhanced RPL for wireless sensor networks,” *2012 3rd Int. Conf. Netw. Futur. NOF 2012*, no. October 2017, pp. 63–70, 2012, doi: 10.1109/NOF.2012.6463993.
- [18] 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.
- [19] T. Winter *et al.*, “Rfc6550: Rpl,” *Internet Eng. Task Force (IETF), Req. Comments 6550, ISSN2070-1721*, pp. 1–157, 2012.