



Optimasi Protokol LEACH Untuk Meningkatkan Stabilitas Pada *Wireless Sensor Network*

Ahmad Ridwan¹, Rian Ferdian², Rahmadi Kurnia³

^{1,3}Teknik Elektro, Teknik, Universitas Andalas

²Sistem Komputer, Teknologi Informasi, Universitas Andalas
rian.ferdian@it.unand.ac.id

Abstract

Wireless sensor networks (WSNs) are small devices that are run by batteries as minimal energy resources. The cluster method is one of the ways on WSN that is widely applied to the routing protocols to extend the network's lifespan. Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) is a cluster-based protocol proven to increase energy efficiency in sensor networks. However, LEACH also has disadvantages such as a selection of cluster heads that don't consider residual energy at every node. It is the cause of failure in the election process and affects the stability of the network cluster. Period network stability is essential as reliable feedback from a network. Therefore, this study tries to investigate and solve stability problems in the LEACH algorithm. In this paper, the authors propose a new protocol that is Optimization-LEACH (O-LEACH), which is the development of the LEACH protocol. The O-LEACH protocol cluster-head selection process is developed based on the initial energy of each node, and a new beginning energy levels calculated from each node to every round. The test results show that the proposed O-LEACH protocol has a better stability period and network lifetime than the LEACH protocol.

Keywords: Optimization, Stability, Wireless Sensor Networks, Routing Protocols, O-LEACH.

Abstrak

Jaringan sensor nirkabel merupakan perangkat kecil yang dijalankan oleh baterai sebagai sumber daya energi yang terbatas. Metode kluster adalah salah satu metode di WSN yang banyak diterapkan pada protokol routing untuk memperpanjang umur jaringan. *Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy* (LEACH) merupakan protokol berbasis kluster yang terbukti meningkatkan efisiensi energi dalam jaringan sensor. Namun, LEACH juga memiliki kekurangan seperti pemilihan kepala kluster yang tidak mempertimbangkan energi sisa di setiap node. Hal ini tentunya menyebabkan kegagalan dalam proses pemilihan kepala kluster dan akan sangat mempengaruhi stabilitas jaringan. Periode stabilitas jaringan sangat penting sebagai umpan balik yang dapat diandalkan dari sebuah jaringan. Oleh karena itu, penelitian ini mencoba untuk menyelidiki dan memecahkan permasalahan stabilitas pada algoritma LEACH. Dalam tulisan ini, penulis mengusulkan protokol baru yang yaitu *Optimization-LEACH* (O-LEACH) yang merupakan pengembangan dari protokol LEACH. Proses pemilihan kepala kluster pada protokol O-LEACH dikembangkan berdasarkan energi awal setiap node, dan tingkat energi awal yang baru dihitung dari setiap node untuk setiap putaran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa protokol O-LEACH yang diusulkan memiliki periode stabilitas dan masa hidup jaringan yang lebih baik dibandingkan dengan protokol LEACH.

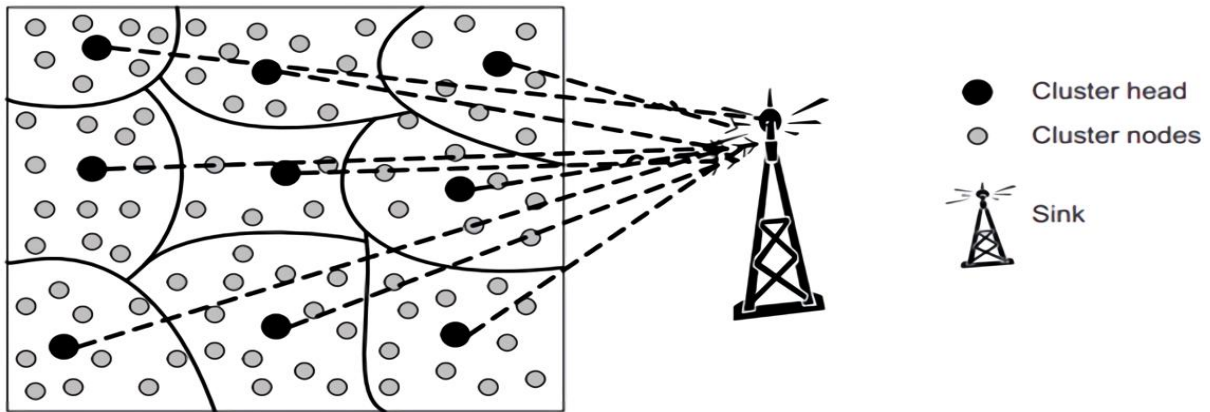
Kata kunci: Optimasi, Stabilitas, Jaringan Sensor Nirkabel, Protokol Routing, O-LEACH.

© 2020 Jurnal RESTI

1. Pendahuluan

Kemajuan terbaru dalam teknologi sensor, komunikasi nirkabel dan komputasi digital telah menghasilkan pengembangan yang lebih lanjut, seperti *Wireless Sensor Network* (WSN). Sebuah jaringan sensor dapat dijelaskan sebagai jaringan yang terdiri dari ratusan hingga ribuan node yang saling terhubung dan

berkolaborasi dalam melakukan penginderaan pada daerah sekitarnya. Teknologi ini terdiri dari node sensor, sebuah cluster head (CH) serta *base station* (BS). Penyebaran node sensor pada WSN dapat dilakukan secara acak. Misalnya, sensor dalam jumlah besar dapat dilemparkan dari pesawat terbang untuk aplikasi pemantauan bencana[1].



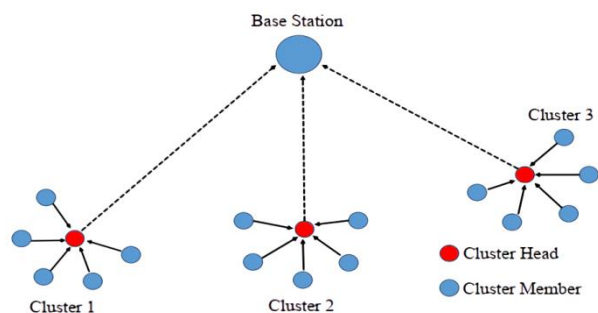
Gambar 1. Arsitektur protokol routing berbasis cluster[2]

Kemudian, WSN juga dapat dipasang secara manual, seperti misalnya dalam sistem monitoring peringatan kebakaran[3]. Berbagai macam aplikasi dari penerapan WSN juga mampu melakukan monitoring atau pemantauan kondisi lingkungan sekitar seperti pemantauan kualitas udara, deteksi gempa, pengawasan area militer, pemantauan medis, deteksi banjir, dan lain-lain[4][5][6][7][8].

Komponen utama dari WSN adalah mikroprosesor, memori, baterai, sensor, dan pemancar/penerima untuk saling berkomunikasi dengan seluruh jaringan[9]. Node sensor sendiri bekerja menggunakan baterai sebagai catu daya yang tidak dapat diisi ulang setiap saat. Karena keterbatasan pada catu daya tersebut, memilih *routing* yang efisien menjadi masalah yang sangat penting dalam jaringan sensor nirkabel. *Routing* adalah metode untuk mengetahui jalur antara node sumber dan node tujuan. Algoritma *routing* dikembangkan untuk memecahkan masalah energi. Merancang *routing* pada jaringan sensor cukup menantang karena beberapa karakteristik yang membedakan dengan *routing* pada jaringan lainnya. Protokol *routing* dalam WSN bertanggung jawab untuk menentukan rute yang hemat energi, agar komunikasi menjadi lebih efisien[10][11].

Beberapa protokol *routing* yang telah diteliti untuk meningkatkan kinerja aplikasi di dalam WSN[12][13]. Perancangan algoritma *routing* yang cocok pada WSN dalam hal memenuhi tuntutan kinerja node sensor dianggap sebagai masalah penting. Algoritma *cluster* merupakan salah satu skema *routing* untuk meningkatkan waktu hidup jaringan dalam WSN. Gambar 1 menunjukkan arsitektur dari protokol *routing* berbasis *cluster*. Dalam algoritma *clustering*[14], node sensor dikelompokkan ke dalam berbagai jumlah *cluster* dan setiap node sensor dapat mengirim data ke masing-masing CH. CH memiliki tanggung jawab untuk menggabungkan dan mengirimkan data tersebut ke BS. Dengan demikian, CH menggunakan lebih banyak energi daripada node-node anggota lain di dalam sebuah *cluster*. Oleh karena itu, pemilihan CH adalah masalah penting dalam merancang protokol berbasis *cluster*.

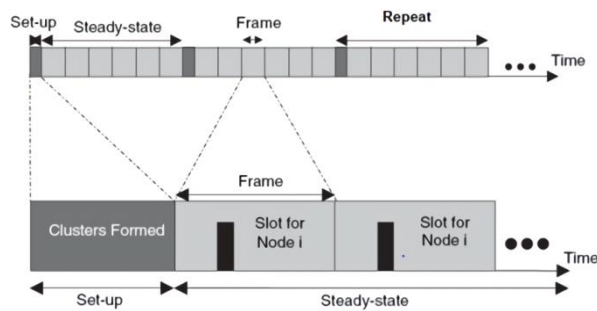
Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) adalah protokol hirarkis *clustering* hemat energi pertama dan paling populer untuk jaringan sensor yang diusulkan untuk mengurangi konsumsi daya dan juga untuk meningkatkan waktu hidup dari jaringan. Protokol LEACH membagi node-node pada jaringan ke dalam beberapa *cluster*. Pada setiap *cluster* salah satu node akan bertindak sebagai CH yang dipilih dan bertanggung jawab terhadap anggota *cluster* dalam menangani penjadwalan *Time Division Multiple Access* (TDMA) dan mengirimkan data yang telah terkumpul ke BS[15]. Gambar 2 menunjukkan proses CH akan mengumpulkan data dari semua node dan merutekan informasi yang terkompresi ke BS. Terdapat 2 fase dalam pembentukan *cluster* pada protokol LEACH yaitu fase pengaturan (*set-up*) dan fase transmisi data (*steady-state*). Proses operasi *time-line* operasi pada algoritma protokol routing LEACH dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 2. Arsitektur protokol LEACH

Pada algoritma LEACH, ada banyak protokol yang berbeda di mana banyak algoritma telah disajikan secara efisien menggunakan energi dan mengurangi jumlah konsumsi energi. Hal ini menunjukkan beberapa kelemahan algoritma LEACH seperti; sisa energi node tidak dipertimbangkan dalam proses pemilihan CH. Oleh karena itu, kegagalan CH karena energi sisa yang rendah tidak dapat dihindari. Kemudian dalam pemilihan CH juga tidak mempertimbangkan jarak antara CH dengan BS. Sehingga, konsumsi daya pada

CH yang terletak jauh dari BS lebih tinggi dibandingkan yang di dekat BS.



Gambar 3. Operasi algoritma LEACH

Dalam beberapa tahun terakhir, banyak peneliti telah melakukan penelitian untuk meningkatkan kinerja protokol LEACH serta untuk mengatasi kelemahannya. Dalam [16] penulis telah mengusulkan strategi pemilihan CH tetap di mana ketika CH sekali dipilih akan diperbaiki. Hal ini menghasilkan penghematan waktu untuk membangun kluster baru karena tidak ada waktu yang dihabiskan dalam fase pengaturan, tetapi informasi dapat terbuang sia-sia jika CH mati sebelum mengirimkan data ke BS.

Singh et al [17], menyelidiki dan menyimpulkan bahwa bahkan setelah 16 tahun keberadaan protokol *Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy* (LEACH), sangat sedikit yang mengukur periode stabilitas jaringan selama pemilihan CH dan pembentukan kluster selama simulasi.

Azim dan Islam [18], mengusulkan *Hybrid-Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy* (H-LEACH). Protokol ini menggunakan energi sisa pada node dan energi maksimumnya di setiap *round* dalam menghitung nilai *threshold*. Jika energi sisa lebih tinggi dari energi jaringan rata-rata, node dipilih sebagai CH. Penelitian ini membandingkan protokol yang diusulkan dengan protokol LEACH. Hasil simulasi menunjukkan bahwa H-LEACH lebih efisien dibandingkan dengan LEACH. Namun, pada penelitian ini hanya mempertimbangkan energi sisa pada node tidak cukup untuk menstabilkan konsumsi daya di WSN, karena jarak node memiliki dampak besar pada disipasi daya.

Singh et al. [19], menyarankan LEACH yang menurutnya protokol routing hemat energi yang dioptimalkan wajib untuk melakukan analisa mengenai periode stabilitas jaringan untuk menyempurnakan masa hidup dari node sensor dan jaringan sensor.

Kotobelli et al. [20] mengusulkan algoritma LEACH yang dimodifikasi di mana preferensi diberikan untuk kendala energi dan bagaimana mengurangi konsumsi energi dari sebuah node dan dengan demikian CH terbentuk dengan baik. Idennya sederhana dengan menjadikan CH sebagai statis sampai energi CH benar-benar berakhir. Hal ini akan memperpanjang masa hidup dengan mengurangi kehilangan energi dalam

pemilihan CH untuk setiap *round* dan menyiarkan pesan pemilihan antara node [21]. Karena rumus ini bekerja secara statis tetapi risiko utama dari skema yang diusulkan adalah bahwa node dinamis akan bergerak secara dinamis dan mengarah ke pembentukan kluster baru setelah beberapa periode untuk mengurangi bobot kluster karena menambahkan lebih banyak node ke sebuah kluster. Kluster dengan lebih banyak node akan menguras energi CH ketika tetap tidak berubah.

Arumugam dan Ponnuchamy [22], mengusulkan peningkatan protokol LEACH berbasis energi efisiensi (EE-LEACH) untuk pengumpulan data. EE-LEACH bertujuan untuk mengurangi energi yang dikonsumsi node dengan demikian akan memperpanjang umur jaringan. Tujuan ini dicapai dengan menggunakan konsep energi sisa untuk memilih CH. Node dengan energi sisa yang lebih tinggi akan dipilih sebagai CH. CH mengumpulkan data sebelum mengirimnya ke BS penerusan node yang memiliki energi sisa tertinggi. Tetapi, pada penelitian ini belum membahas mengenai periode stabilitas jaringan dari protokol EE-LEACH. Sehingga masih terdapat kekurangan memperkenalkan model distribusi Gaussian untuk memastikan cakupan area penginderaan yang efektif.

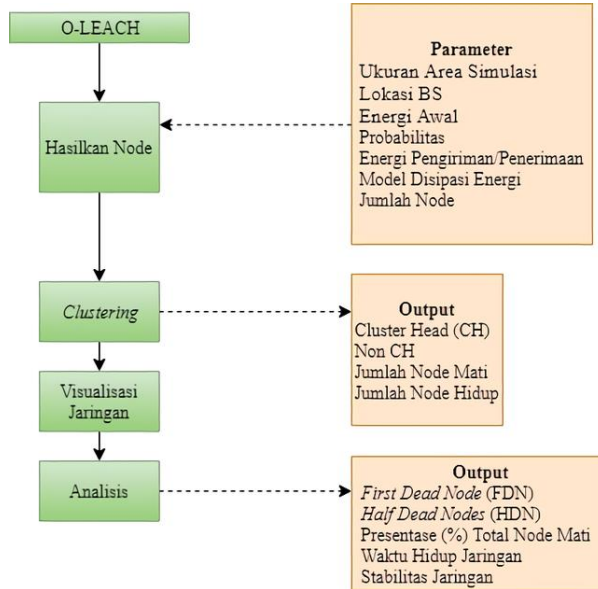
Dari penjelasan dan beberapa penelitian diatas dapat disimpulkan meskipun algoritma protokol LEACH dapat meningkatkan masa pakai jaringan pada jaringan sensor tetapi masih memiliki kekurangan. Bahkan banyak yang telah melakukan riset untuk memperbaiki kinerja dari protokol LEACH. Hal ini menjadi bukti bahwa meningkatkan masa pakai jaringan saja tidak cukup untuk beberapa aplikasi yang membutuhkan umpan balik yang dapat diandalkan dari sebuah jaringan sensor nirkabel.

Pada penelitian ini salah satu yang menjadi tujuan utama adalah meningkatkan periode stabilitas jaringan dari protokol LEACH selain dari meningkatkan masa pakai jaringan. Periode stabilitas jaringan yang dapat didefinisikan sebagai momen ketika node pertama mati sampai dengan setengah dari total node yang disimulasikan mati sudah harus menjadi pertimbangan dalam merancang sebuah protokol *routing* WSN. Sehingga kedepannya jaringan sensor nirkabel dapat mencapai keandalan yang lebih baik.

2. Metode Penelitian

Pada Gambar 4 adalah desain sistem penelitian yang akan dilakukan pada protokol O-LEACH yang akan dibandingkan untuk hasil yang akan dianalisis. Dalam penelitian ini, posisi node dibuat secara acak menggunakan beberapa parameter termasuk ukuran area simulasi, lokasi BS, energi awal, probabilitas, energi pengiriman dan penerimaan, model disipasi energi, waktu maksimum, dan jumlah node sehingga kita dapat menghasilkan satu *set* node dalam jaringan. Setelah jaringan nirkabel terbentuk, proses selanjutnya adalah *clustering* pada node di dalam jaringan dan

kemudian akan menghasilkan *output* dalam bentuk CH, non-CH, node mati, node hidup. Setelah ada *output*, kita dapat menampilkan dalam bentuk grafis proses yang terjadi pada jaringan. Hasil dari penelitian ini juga dapat digunakan untuk menganalisis, *first dead node* (FDN), *half dead nodes* (HDN), presentase total node mati, waktu hidup jaringan dan stabilitas jaringan yang dapat dijadikan sebagai acuan optimasi pada jaringan sensor nirkabel.



Gambar 4. Sistem Desain Penelitian

2.1 Perancangan Algoritma Optimasi-LEACH

Pada protokol LEACH sebelumnya masih terdapat beberapa masalah yang menjadi perhatian seperti pada pemilihan CH secara acak tanpa memperhitungkan nilai energi dari node yang akan dipilih menjadi CH. Sehingga hal ini dapat menyebabkan efek skenario pada jaringan sensor, karena jaringan sensor sendiri memiliki perhatian utama mengenai efisiensi energi jaringan. Pada penelitian ini akan mengusulkan optimasi dari protokol LEACH, dimana node akan mengorganisir ke dalam *cluster* yang berbeda dan masing-masing cluster akan memiliki BS lokal yang berfungsi sebagai CH di *cluster* tersebut dan hanya akan bertanggung jawab untuk mengumpulkan informasi *routing* ke BS. Mekanisme yang diusulkan menggunakan proses yang sama seperti protokol LEACH yaitu terdiri dari 2 fase yaitu pengaturan kluster (*set-up*), dan fase transmisi data (*steady-state*) pada jaringan sensor nirkabel. Akan tetapi pada algoritma yang diusulkan ini proses keputusan node menjadi CH tidak berdasarkan angka acak saja tetapi dengan pertimbangan lain yang dijadikan batas *threshold*, yaitu energi pada jaringan, energi awal setiap node, dan tingkat energi awal yang baru dihitung dari setiap node untuk setiap *round*. Maka dengan menggunakan persamaan (1) dapat dirancang mekanisme baru dalam menetapkan batas *threshold*

atau $T(n)_v$ pada setiap node. Sehingga di dapatkan persamaan sebagai berikut :

$$T(n)_v = \left\{ \frac{P_v}{1 - P_v \times \text{mod}\left(r \bmod \frac{1}{P_v}\right)} \right\} \quad (1)$$

Dimana nilai P_v dapat dihitung dengan persamaan berikut,

$$P_v = \frac{P_c \times n \times (i_{\text{node}} \times E_n)}{E_i \times E_v} \quad (2)$$

dimana P_c adalah probabilitas awal yang dipilih, n mewakili jumlah node, i_{node} mewakili node individu, E_n adalah energi pada jaringan, E_i adalah energi awal node dan E_v adalah tingkat energi awal yang baru dihitung dari setiap node untuk setiap *round* dengan bantuan tingkat energi awal node bukan menggunakan tingkat energi yang tersisa dari node sebagai tingkat energi node untuk setiap *round*. Hal ini dapat dihitung dengan persamaan berikut,

$$E_v = E_i \times \left(\frac{1 - \frac{tt_{\text{round}}}{R_m}}{n} \right) \quad (3)$$

dimana E_i merupakan energi awal node, tt_{round} adalah kombinasi fase pengaturan (*set-up*) dan fase transmisi data (*steady-state*) sekarang, R_m adalah jumlah *round* maksimum yang terdiri dari data *sensing* yang ditransmisikan ke BS. Persamaan *threshold* baru ini dibuat untuk menentukan CH setiap *round* pada fase pengaturan dan fase transmisi data. Prosedur selanjutnya sama seperti algoritma LEACH yaitu mengirim informasi dari node sensor ke masing-masing CH dengan slot TDMA yang telah dialokasikan, kemudian dengan bantuan algoritma CDMA untuk menghindari tabrakan paket di dalam jaringan.

2.2 Desain Model Disipasi Energi Saluran Radio

Pada penelitian ini, diasumsikan model disipasi energi yang dipakai pada saluran radio protokol *routing* LEACH dan O-LEACH adalah yang memiliki karakteristik sederhana. Pemancar menghabiskan energi untuk menjalankan perangkat radio elektronik dan penguat daya, sedangkan penerima menghabiskan energi untuk menjalankan perangkat radio elektronik saja, seperti yang ditampilkan pada Gambar 5.

Untuk mentransmisikan suatu pesan sebesar k -bit pada jarak sejauh d meter, jumlah energi yang dikonsumsi oleh radio dapat dihitung menggunakan persamaan berikut[23],

$$E_{Tx}(k, d) = (E_{elec} \times k) + (E_{amp} \times k \times d^2) \quad (4)$$

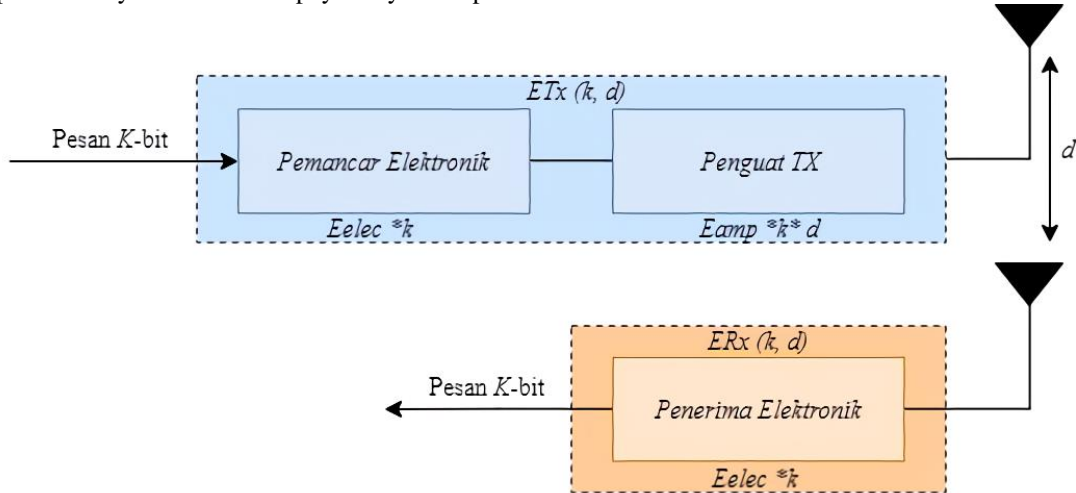
Konsumsi energi untuk menerima pesan k -bit dapat dihitung dengan persamaan berikut,

$$E_{Rx} = E_{elec} * k \quad (5)$$

Dimana E_{Tx} menunjukkan energi yang dihabiskan per bit selama transmisi, E_{Rx} menunjukkan energi yang

dihabiskan per bit selama penerimaan, k adalah jumlah bit pesan, d merepresentasikan jarak antara pengirim dan penerima, E_{elec} merupakan energi yang dikeluarkan per-bit untuk menjalankan radio frekuensi disisi pemancar dan penerima pada perangkat node, sedangkan E_{amp} adalah energi yang digunakan untuk memperkuat sinyal informasi supaya sinyal sampai ke

penerima dalam keadaan masih memenuhi batas nilai minimum sinyal informasi atau biasa disebut sensitivitas penerima radio. Ada beberapa parameter yang mempengaruhi nilai E_{elec} dan E_{amp} seperti: penguatan (G), panjang gelombang (λ), tinggi antenna (h), *bitrate* (R_b), dan sensitivitas penerima radio.



Gambar 5. Diagram model energi radio[24]

2.3 Menentukan Parameter Energi

Pada simulasi ini menggunakan perangkat lunak MATLAB 2015a dengan mensimulasikan 200 node sensor yang akan didistribusikan pada area yang berukuran 100x100 m² dalam keadaan statis. Node sensor akan diletakkan secara acak dengan energi awal yang sama dan pengujian berjalan selama 100 *round*. Jumlah total node dalam jaringan sensor sama dengan jumlah node sensor ditambah satu BS sehingga total node dalam simulasi ini menjadi 201 node. Data sensor untuk parameter node diambil dari datasheet *XBee Pro S2C*[25], seperti yang terdapat dalam Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Parameter Penelitian RF Node Sensor

Parameter	Nilai
Energi awal (E_o)	0.5 Joule
Frekuensi (F)	2.4 Ghz
Sensitifitas (S)	-100 dBm
Bitrate (R_b)	250 Kbps
Arus pemancar	120 mA
Arus penerima	31 mA
Tegangan (V)	3.3 V
Gain (G)	2 dBi
Tinggi antenna (h)	0.5 m

Berdasarkan tabel 1 kita dapat menentukan perhitungan energi yang dikeluarkan per-bit untuk menjalankan radio frekuensi di sisi pemancar dan penerima yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut[25]:

$$E_{elec} = \frac{V \times I}{R_b} \quad (6)$$

Sehingga nilai E_{elec} pada bagian pemancar dan penerima menjadi,

$$E_{elec \text{ Transceiver}} = \frac{3,3 \times 120 \times 10^{-3}}{250 \times 10^3} = 1,59 \mu J/bit \quad (7)$$

$$E_{elec \text{ Receiver}} = \frac{3,3 \times 31 \times 10^{-3}}{250 \times 10^3} = 0,41 \mu J/bit \quad (8)$$

Sedangkan untuk menghitung nilai propagasi gelombang radio atau nilai yang terjadi ketika gelombang radio merambat dari pemancar ke penerima dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu, secara *free space loss* dan *multipath fading*. Pada propagasi gelombang secara *free space loss*, diasumsikan bahwa sinyal pada pemancar dan penerima dalam keadaan *line of sight* (LOS) atau tidak ada *obstacle*. Sehingga energi amplifikasi pada *free space loss* dapat dihitung dengan persamaan berikut[25],

$$\varepsilon_{fs} = \frac{S \times (4\pi)^2}{R_b \times G_t \times G_r \times \lambda^2} \quad (9)$$

Nilai energi amplifikasi pada ε_{fs} menjadi,

$$\varepsilon_{fs} = \frac{0,1 \times 10^{-12} \times (4\pi)^2}{250 \times 10^3 \times 1,6 \times 1,6 \times 0,125^2} = 1,5 \times 10^{-3} pJ/bit/m^2 \quad (10)$$

Jika antara penerima dan pemancar terdapat *obstacle* maka sinyal akan dipantulkan oleh berbagai objek sebelum sampai ke penerima. Fenomena ini biasa disebut *multipath fading*. Untuk menghitung energi amplifikasi pada perambatan gelombang radio *multipath fading* dapat digunakan persamaan berikut[25],

$$\varepsilon_{mp} = \frac{S}{R_b \times G_t \times G_r \times h_t^2 \times h_r^2} \quad (11)$$

Maka nilai energi amplifikasi ϵ_{mp} dapat dilakukan dengan persamaan berikut,

$$\epsilon_{mp} = \frac{0,1 \times 10^{-12}}{250 \times 10^3 \times 1,6 \times 1,6 \times 0,5^2} = 2,5 \times 10^{-6} \text{ pJ/bit/m}^4 \quad (12)$$

Sedangkan untuk membedakan penggunaan energi dapat menggunakan parameter jarak (d_0) yang dapat dihitung dengan persamaan berikut[25],

$$d_0 = \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}} \quad (13)$$

Sehingga nilai d_0 dapat dihitung dengan,

$$d_0 = \sqrt{\frac{1,5 \times 10^{-15}}{2,5 \times 10^{-18}}} = 10\sqrt{6} \quad (14)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian artikel ini akan menyajikan dan membahas hasil simulasi dari O-LEACH yang akan dibandingkan dengan protokol LEACH. Berdasarkan perhitungan parameter energi diatas kita dapat membuat pemodelan simulasi yang akan dirancang pada MATLAB. Tabel 2 akan menjelaskan parameter simulasi berdasarkan perhitungan parameter energi yang telah dihitung berdasarkan data *datasheet XBee Pro S2C*.

Tabel 2. Parameter Simulasi Penelitian

Parameter	Nilai
Luas area simulasi	100x100 m ²
Lokasi <i>base station</i> (BS)	(50, 50)
Energi awal (E_0)	0.5 Joule
Probabilitas (P)	0.1
Energi pengiriman ($E_{elec Tran}$)	1,59 $\mu\text{J/bit}$
Energi penerimaan ($E_{elec Receiv}$)	0,41 $\mu\text{J/bit}$
Energi amplifikasi (ϵ_{fs})	1,5x10 ⁻³ pJ/bit
Energi ampfikasi (ϵ_{mp})	2,5x10 ⁻⁶ pJ/bit
Jumlah node	200

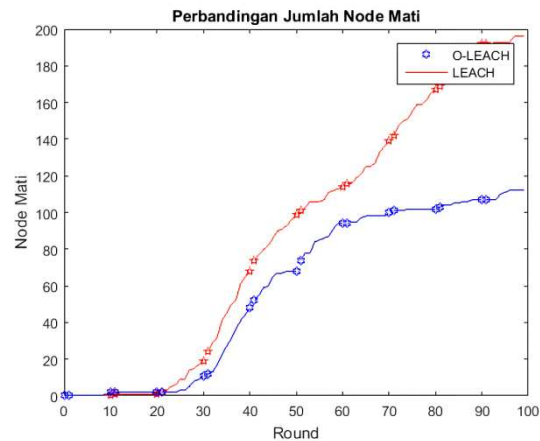
Pada pengujian ini periode stabilitas jaringan dan masa hidup jaringan sensor akan digunakan sebagai tolak ukur untuk membandingkan dan melihat apakah protokol O-LEACH yang telah diusulkan mencapai hasil terbaik.

3.1 Periode Stabilitas Jaringan

Periode stabilitas jaringan dapat didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan untuk *first dead node* (FDN) sampai dengan setengah dari total node yang disimulasikan mati[26], Hasil simulasi penelitian ini menunjukkan protokol yang diusulkan memiliki stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan protokol LEACH, seperti yang dapat dilihat pada gambar 6.

Dari Gambar 6 kita dapat melihat bahwa algoritma yang diusulkan memiliki dampak besar pada pengurangan konsumsi energi. Node pertama yang mati

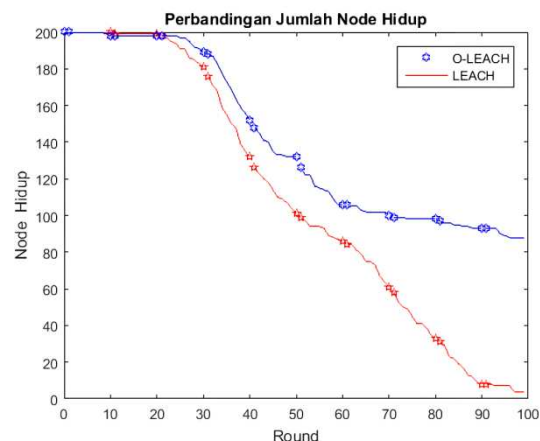
pada protokol O-LEACH terjadi di *round* 9 dan *half of the dead nodes* (HDN) terjadi pada *round* 71, sedangkan node mati yang pertama pada protokol LEACH terjadi di *round* 12 dan *half of the dead nodes* (HDN) di *round* 52. Peningkatan periode stabilitas oleh protokol O-LEACH disebabkan modifikasi dari algoritma LEACH yang telah dimodifikasi. Sehingga ketika pemilihan CH pada *round* berikutnya sudah memperhitungkan nilai energi dari node yang akan dipilih menjadi CH tersebut.



Gambar 6. Jumlah node mati vs jumlah *round*

4.2 Masa Hidup Jaringan

Masa hidup jaringan dapat didefinisikan sebagai interval waktu mulai komunikasi hingga node terakhir mati[27]. Hasil simulasi artikel ini menunjukkan bahwa protokol yang dirancang mengungguli protokol LEACH dalam hal masa hidup jaringan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Jumlah node hidup vs jumlah *round*

Dari gambar 7 menunjukkan bahwa pada *round* 100 yang merupakan *round* terakhir, node hidup yang tersisa dari protokol O-LEACH yang diusulkan adalah 88 node, yang berarti hanya 56% dari total node di dalam jaringan sudah mati, sedangkan node yang masih

hidup dari protokol LEACH hanya tersisa 4 node yang berarti 98% dari total node pada jaringan sudah mati. Hasil ini menunjukkan efisiensi pada protokol yang diusulkan dalam hal distribusi energi diantara node dalam proses pemilihan CH dan pembentukan *cluster*. [5]

Perbandingan antara protokol O-LEACH dengan protokol LEACH dalam hal masa hidup jaringan dan periode stabilitas ditampilkan pada Tabel 3. [6]

Tabel 3. Perbandingan Antara Protokol O-LEACH dan LEACH [7]

Protokol	FDN	HDN	Node tersisa dalam jaringan pada round 100	Node hidup pada round 100
O-LEACH	9	71	88	44 %
LEACH	12	52	4	2 %

4. Kesimpulan [9]

Pada artikel ini, diusulkan metode pemilihan CH pada protokol LEACH yang ditingkatkan untuk jaringan sensor nirkabel untuk mengatasi masalah stabilitas jaringan dan masa hidup jaringan. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak MATLAB untuk mensimulasikan kinerja algoritma yang telah diusulkan. Dari hasil simulasi, menunjukkan bahwa pemilihan CH secara acak yang dilakukan oleh protokol LEACH hanya mampu mempertahankan 4 node atau hanya 2% dari total jumlah node yang disimulasikan. Sedangkan metode pemilihan CH yang diusulkan dengan menggunakan nilai awal energi pada jaringan dan energi awal setiap node mampu mempertahankan 88 node atau sekitar 44% dari total 200 node yang disimulasikan sampai dengan proses simulasi selesai. Sehingga dapat dikatakan protokol O-LEACH yang diusulkan mampu mempertahankan stabilitas dan masa hidup jaringan lebih baik dibandingkan protokol LEACH. [10]

Pada penelitian selanjutnya dapat mencoba untuk mengimplementasikan metode pencarian heuristik pada jaringan nirkabel, karena metode ini sangat baik dalam pencarian jalur paling optimal sehingga pengiriman data dari node menuju lokasi BS terdekat dapat lebih cepat dan hal ini akan menghemat energi pada node sensor. [11]

Daftar Rujukan [12]

- [1] R. K. Jha, A. Singh, A. Tewari, and P. Shrivastava, "Performance analysis of disaster management using WSN technology," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 49, no. 1, pp. 162–169, 2015.
- [2] O. Rehman, N. Javaid, B. Manzoor, A. Hafeez, A. Iqbal, and M. Ishfaq, "Energy consumption rate based stable election protocol (ECRSEP) for WSNs," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 19, pp. 932–937, 2013.
- [3] M. Dener, Y. Özkök, and C. Bostancıoğlu, "Fire Detection Systems in Wireless Sensor Networks," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 195, pp. 1846–1850, 2015.
- [4] P. Rawat, K. D. Singh, H. Chaouchi, and J. M. Bonnin, "Wireless sensor networks: A survey on recent [23]

- developments and potential synergies," *J. Supercomput.*, vol. 68, no. 1, pp. 1–48, 2014.
- M. U. Rahman, S. Rahman, S. Mansoor, V. Deep, and M. Aashkaar, "Implementation of ICT and Wireless Sensor Networks for Earthquake Alert and Disaster Management in Earthquake Prone Areas," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 85, no. Cms, pp. 92–99, 2016.
- K. Ghosh, S. Neogy, P. K. Das, and M. Mehta, "Intrusion Detection at International Borders and Large Military Barracks with Multi-sink Wireless Sensor Networks: An Energy Efficient Solution," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 98, no. 1, pp. 1083–1101, Jan. 2018.
- N. Fahmi, M. U. Harun, A. Rasyid, and A. Sudarsono, "Adaptive Sleep Scheduling for Health Monitoring System Based on the IEEE 802.15.4 Standard," *Emit. Int. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 91–114, 2016.
- I. D. Sumitra, R. Hou, and S. Supatmi, "Design and Deployment of Wireless Sensor Networks for Flood Detection in Indonesia," in *Cloud Computing and Security*, 2017, pp. 313–325.
- R. F. M. R.A. Fattah Adriansyah, "Penjadwalan Berbasis MAC 802.11 dan Routing ACO pada Wireless Sensor Network," *J. Rekayasa Sist. dan Teknol. Inf.*, vol. 3, no. 3, pp. 479–487, 2019.
- J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: A survey," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 11, no. 6, pp. 6–27, 2004.
- H. Singh and D. Singh, "Taxonomy of routing protocols in wireless sensor networks: A survey," *Proc. 2016 2nd Int. Conf. Contemp. Comput. Informatics, IC3I 2016*, pp. 822–830, 2016.
- S. Chahal and N. Singh Gill, "Comparative Study of Various WSN Routing Protocols," *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 9, no. 48, pp. 1–6, 2016.
- S. R. Rajeswari and V. Seenivasagam, "Comparative Study on Various Authentication Protocols in Wireless Sensor Networks," *Sci. World J.*, vol. 2016, no. iii, 2016.
- S. Dhiviya, A. Sariga, and P. Sujatha, "Survey on WSN Using Clustering," in *2017 Second International Conference on Recent Trends and Challenges in Computational Models (ICRTCCM)*, 2017, pp. 121–125.
- R. K. Kodali and N. K. Aravapalli, "Multi-level LEACH protocol model using NS-3," in *2014 IEEE International Advance Computing Conference (IACC)*, 2014, pp. 375–380.
- V. Kumar, S. Jain, S. Tiwari, and I. Member, "Energy Efficient Clustering Algorithms in Wireless Sensor Networks: A Survey," *IJCSI Int. J. Comput. Sci.*, vol. 8, no. 5, pp. 259–268, 2011.
- S. Mottaghi and M. R. Zahabi, "Optimizing LEACH clustering algorithm with mobile sink and rendezvous nodes," *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, vol. 69, no. 2, pp. 507–514, 2015.
- A. Azim and M. M. Islam, "Hybrid LEACH: A relay node based low energy adaptive clustering hierarchy for wireless sensor networks," *Proc. - MICC 2009 2009 IEEE 9th Malaysia Int. Conf. Commun. with a Spec. Work. Digit. TV Contents*, no. December, pp. 911–916, 2009.
- S. K. Singh, P. Kumar, and J. P. Singh, "A Survey on Successors of LEACH Protocol," *IEEE Access*, vol. 5, no. c, pp. 4298–4328, 2017.
- E. Kotobelli, E. Zanaj, and M. Alinci, "A Modified Clustering Algorithm in WSN," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 6, no. 7, pp. 63–67, 2015.
- Z. Manap, B. Mohd, K. Kyun, N. Nor, K. Noordin, and A. Sali, "A Review on Hierarchical Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 72, no. 2, pp. 1077–1104, 2013.
- G. S. Arumugam and T. Ponnuchamy, "EE-LEACH: development of energy-efficient LEACH Protocol for data gathering in WSN," *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2015, no. 1, p. 76, 2015.
- K. Cengiz and T. Dag, "Energy Aware Multi-Hop Routing

- Protocol for WSNs,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 2622–2633, [26] 2017.
- [24] J. Y. Lee and D. Lee, “Improvement of CH election in three-level heterogeneous WSN,” *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 13, no. 1, pp. 272–278, 2019.
- [25] W. Cahyadi, M. A. Wahyudi, and C. S. Sarwono, “Analisis Perbandingan Konsumsi Energi dan Masa Hidup Jaringan pada Protokol LEACH, HEED, dan PEGASIS di Wireless Sensor Network,” *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 14, no. 2, pp. 128–135, 2018. [27]
- A. B. M. A. Al Islam, C. S. Hyder, H. Kabir, and M. Naznin, “Stable Sensor Network (SSN): A Dynamic Clustering Technique for Maximizing Stability in Wireless Sensor Networks,” *Wirel. Sens. Netw.*, vol. 02, no. 07, pp. 538–554, 2010.
- Rengugadevi. G and Sumithra. M. G, “Hierarchical Routing Protocols For Wireless Sensor Network–A Survey,” *Int. J. Smart Sensors Ad Hoc Networks*, vol. 2, no. 1, pp. 71–75, 2012.