

A CLUSTERING OPTIMIZATION FOR ENERGY EFFICIENCY IN WIRELESS SENSOR NETWORK USING K-MEANS ALGORITHM

Roid Zuhdianto¹, Fransiska Sisilia Mukti*²

^{1,2}Teknik Informatika, Fakultas Teknologi dan Desain, Institut Teknologi dan Bisnis Asia Malang, Indonesia
Email: ¹roidzuh@gmail.com, ²ms.frans@asia.ac.id

(Naskah masuk: 1 Agustus 2022, Revisi: 10 Agustus 2022, Diterbitkan: 10 Februari 2023)

Abstract

The limitation of sensors energy make energy efficiency still a priority issue in Wireless Sensor Network (WSN) technology. One effort that can be done to overcome this problem is to design the right data transmission path (or better known as routing). Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) is one of the most widely used cluster-based routing protocols because it is considered capable of minimizing the amount of energy consumption through the formation of clusters or groups of nodes. Unfortunately, this protocol will experience a significant decrease in energy as the amount of data transmission increases. This is partly due to the clustering process which is carried out randomly and causes an imbalance in the distribution of the number of nodes between clusters. This study proposed a method to optimize the clustering process in the LEACH protocol by integrating the K-Means algorithm, which is called LEACH-KMe. A simulation was conducted to determine the effectiveness of the proposed method by considering 4 main parameters, namely total energy consumption, number of alive nodes, number of dead nodes, and residual energy. The test results proved that the LEACH-KMe protocol provides better performance than the conventional LEACH protocol (more even distribution of nodes, less total energy consumption and number of dead nodes, as well as a larger number of alive nodes and residual energy).

Keywords: clustering, energy efficiency, k-means, LEACH, wireless sensor network

OPTIMASI PROSES CLUSTERING UNTUK EFISIENSI ENERGI PADA WIRELESS SENSOR NETWORK MENGGUNAKAN ALGORITMA K-MEANS

Abstrak

Keterbatasan energi yang dimiliki oleh sensor membuat efisiensi energi masih menjadi isu prioritas dalam teknologi Wireless Sensor Network (WSN). Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan mendesain jalur pengiriman data yang tepat (atau lebih dikenal dengan istilah *routing*). *Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy* (LEACH) merupakan salah satu protocol *routing* dengan skema *cluster-based* yang paling banyak digunakan karena dianggap mampu meminimalisir jumlah konsumsi energi melalui pembentukan klaster atau kelompok-kelompok node. Sayangnya, protokol ini akan mengalami penurunan energi secara signifikan ketika jumlah transmisi data meningkat. Hal ini salah satunya disebabkan oleh proses klasterisasi yang dilakukan secara acak dan menyebabkan adanya ketimpangan persebaran jumlah node antar klaster. Penelitian ini mengusulkan sebuah metode untuk mengoptimasi proses klastering pada protocol LEACH dengan mengintegrasikan algoritma K-Means, yang dinamakan LEACH-KMe. Sebuah simulasi dilakukan untuk mengetahui efektivitas metode yang diusulkan dengan mempertimbangkan 4 parameter utama, yaitu total konsumsi energi, jumlah *alive node*, jumlah *dead node*, dan *residual energy* yang dihasilkan. Hasil pengujian membuktikan bahwa protocol LEACH-KMe memberikan performansi yang lebih baik dibandingkan protocol LEACH konvensional (distribusi node yang lebih merata, total konsumsi energi dan jumlah *dead node* yang lebih sedikit, serta jumlah *alive node* dan *residual energy* yang lebih besar).

Kata kunci: clustering, efisiensi energi, k-means, LEACH, wireless sensor network

1. PENDAHULUAN

Wireless Sensor Network (WSN) menjadi sebuah teknologi yang baru-baru ini banyak dikembangkan untuk kebutuhan industri, seperti militer, pertanian, meteorology dan obat-obatan.

WSN terdiri dari sekumpulan besar perangkat-perangkat mini yang bertugas dalam mengumpulkan informasi hasil penginderaan lingkungan sekitar dengan menggunakan *sensor node* (SN) [1]. Setiap hasil penginderaan yang berhasil dilakukan oleh SN akan dikirimkan kepada pemroses data (*base station*-

sink node) secara nirkabel (*wireless*). Mekanisme komunikasi melalui *wireless* dianggap mampu memberikan fleksibilitas yang lebih baik dibandingkan dengan komunikasi secara kabel (*wired*) [2]. Jadi, SN tidak hanya bertanggungjawab dalam melakukan proses penginderaan lingkungan saja, tetapi juga bertanggungjawab dalam melakukan pengiriman data tersebut ke *base station* (BS) [3].

Dengan fungsi dan peran dari SN yang cukup signifikan, masih didapati keterbatasan pada SN seperti jumlah energi, kapasitas penyimpanan, dan kemampuan dalam melakukan pemrosesan data. Lebih lanjut, teknologi WSN ini banyak diimplementasikan pada daerah-daerah yang sulit dijangkau, seperti gunung berapi, laut, daerah rawa-rawa, hutan, dan lain sebagainya. Sehingga hal ini membuat SN tidak memungkinkan untuk mengalami pergantian perangkat (apabila mengalami kerusakan) atau hanya sekedar mengisi kembali daya atau energinya yang habis. Sementara itu, WSN sendiri banyak digunakan untuk kebutuhan proses pemantauan sebagai tindakan mitigasi bencana alam seperti deteksi kebakaran, banjir, prediksi cuaca, iklim dan sebagainya [4].

Oleh karena itu, sangat penting untuk memastikan bahwa energi yang tersedia pada SN cukup untuk melakukan pertukaran data atau informasi. Seringkali ditemukan kasus dimana terjadi redundansi data dalam proses pertukaran informasi yang menyebabkan adanya penipisan energi secara signifikan pada SN. Salah satu mekanisme yang dapat diupayakan untuk menghindari terjadinya hal tersebut adalah dengan mendesain jalur pengiriman data (atau lebih dikenal dengan istilah *routing*) secara efisien [5].

Proses *routing* pada WSN dilakukan dengan bantuan protokol *routing* yang bertugas dalam mencari rute atau jalur pentransmisi data dari SN ke BS [6]. Ada kalanya SN disebarkan secara acak pada sebuah daerah dengan lingkup yang sangat luas, sehingga sangat memungkinkan jarak antara SN dan BS sangat jauh. Oleh karena itu, dibutuhkan desain protokol *routing* yang efisien untuk memperpanjang masa hidup jaringan (menghemat energi pada SN) [3].

Terdapat 3 jenis protokol *routing* pada sistem komunikasi WSN, yaitu *flat routing*, *hierarchical (cluster-based) routing* dan *location-based routing* [4]. *Flat routing* akan menentukan rute terbaiknya berdasarkan jumlah *hop* atau lompatan. Data akan dikirimkan selama SN masih berada dalam jangkauan *hop* yang telah ditentukan. Berbeda dengan *hierarchical/cluster-based routing* yang bekerja dengan cara mengelompokkan SN ke dalam sebuah kluster dengan sebuah titik pusat yang disebut dengan *cluster head* (CH). CH inilah yang nantinya bertugas untuk mengirimkan akumulasi data dari SN ke BS. Sementara itu, *location-based routing* mengatur rute berdasarkan perhitungan jarak antar SN untuk memperkirakan jumlah energi yang diperlukan setiap

kali pengiriman data berlangsung. Protokol *routing* ini akan selalu meminta informasi lokasi dari setiap SN untuk melakukan perhitungannya [7].

Dari ketiga jenis protokol *routing* yang telah disebutkan, *hierarchical routing* diklaim sebagai protokol *routing* yang paling efisien dalam hal konsumsi energi [5]. Hal ini terjadi karena *hierarchical routing* menerapkan skema *data fusion and aggregation* sebagai upaya hemat energi. Usaha konservasi energi sangat diperlukan utamanya pada saat pembentukan kluster dan pemilihan CH [4].

Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) menjadi protokol *hierarchical routing* pertama yang rilis pada tahun 2002 oleh Wendi B. Heinzelman [8]. Hingga saat ini, protokol LEACH merupakan protokol yang paling banyak diimplementasikan di lingkungan WSN karena dipercaya memiliki kemampuan dalam mengurangi konsumsi energi selama proses pengiriman data. Protokol LEACH memiliki proses klusterisasi yang bersifat adaptif karena mendistribusikan energi secara merata dalam jaringan [9].

Sekalipun dipercaya mampu meningkatkan masa hidup dalam jaringan, namun ada beberapa mekanisme pada protokol LEACH yang justru dapat mempengaruhi stabilitas jaringan. Pemilihan CH pada protokol LEACH tidak mempertimbangkan sisa energi pada SN yang terpilih, sehingga bisa saja menyebabkan proses pemilihan CH tidak berhasil akibat SN yang terpilih telah habis energinya [10]. Selain itu, proses klusterisasi pada protokol LEACH menggunakan skema acak, sehingga sering ditemukan ketimpangan jumlah SN dalam sebuah kluster [11].

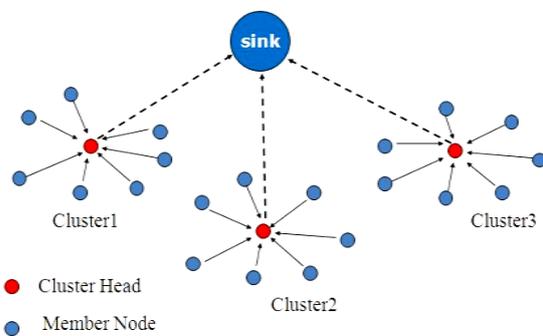
Berbagai penelitian telah dilakukan dengan mengadopsi LEACH sebagai acuan dasar. Chunyao Fu dkk [12] mengusulkan sebuah algoritma untuk menyeimbangkan energi pada protokol LEACH dengan menggunakan konsep *two levels cluster head* (LEACH-TLCH). Usulan metode disimulasikan dengan menggunakan MatLab SimuLink dan didapatkan *network lifetime* pada metode ini 15% lebih baik dibandingkan protokol LEACH konvensional. Hal yang sama juga dilakukan oleh Radhika dan Sivakumar [13] dengan mengusulkan sebuah kolaborasi metode *microgenetic algorithm* pada protokol LEACH guna mencapai masa hidup jaringan yang lebih panjang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode yang diusulkan mampu meningkatkan *network lifetime* mencapai 94,2% dibandingkan protokol LEACH konvensional. Berbeda dengan dua penelitian sebelumnya, Li dkk [14] mengusulkan pengembangan protokol LEACH dengan mempertimbangkan permasalahan pada proses pemilihan CH. Protokol yang diusulkan dinamakan LEACH-N, telah berhasil memberikan performansi yang lebih baik dibandingkan protokol konvensional dalam hal jumlah *alive node*, total konsumsi energi yang dibutuhkan dan keberhasilan transmisi data.

Penelitian ini mengusulkan skema yang berbeda dari penelitian yang sebelumnya, yaitu dengan mengintegrasikan salah satu algoritma *machine learning (unsupervised learning)* yaitu algoritma K-Means. Algoritma K-Means di sini berperan dalam proses pembentukan kluster yang lebih merata dibandingkan proses klusterisasi pada protokol LEACH konvensional. Pemerataan jumlah node pada setiap kluster diharapkan mampu meningkatkan stabilitas energi pada jaringan dan memperpanjang masa hidup node pada WSN.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH)

LEACH merupakan salah satu protokol *hierarchical-based routing* yang mengadopsi mekanisme pembagian node dalam kluster sebagai upaya untuk mencapai efisiensi energi dalam jaringan. Setiap kluster dalam protokol LEACH akan memiliki satu *cluster head* (CH) yang bertanggungjawab dalam melakukan pengiriman data ke *base station* (BS). Tujuan efisiensi energi dapat tercapai karena setiap SN hanya cukup mengirimkan data ke CH saja, tanpa harus berkomunikasi secara langsung dengan BS [15]. Konsep dari pembentukan kluster pada protokol LEACH ditunjukkan melalui Gambar 1 [16].



Gambar 1. Pembentukan Kluster pada LEACH

Secara umum, CH memiliki tiga tugas utama: (1) melakukan pengumpulan data dari SN yang berada dalam klusternya dan melakukan proses sortir reduksi data (2) melakukan proses agregasi data dan mengirimkannya ke BS secara langsung dalam *single hop* (3) menerapkan mekanisme *Time Division Multiple Access* (TDMA) dalam mengatur jadwal pengiriman data untuk setiap anggota kluster agar tidak terjadi tabrakan [17]. Untuk memenuhi tugas tersebut, maka proses komunikasi dalam protokol LEACH dideskripsikan dalam dua prosedur utama, yaitu *setup phase* dan *steady-state phase* [5].

Pada *setup phase* terjadi proses penentuan CH dan pembentukan kluster dengan menggunakan mekanisme *clustering*. Setiap SN memiliki kesempatan yang sama untuk menjadi CH, oleh

karena itu setiap SN akan melakukan perhitungan secara independen untuk menentukan apakah dirinya berkesempatan untuk menjadi CH. Setelah proses pemilihan CH selesai dilakukan, maka setiap SN akan mulai melakukan pembentukan kluster dengan bergabung pada CH yang memiliki kuat sinyal terbesar [15].

Fase selanjutnya adalah proses pengiriman data dari anggota kluster ke CH, fase ini dinamakan sebagai *steady-state phase*. Fase ini membutuhkan waktu yang lebih lama dibanding fase sebelumnya, karena terjadi aktivitas transmisi dan observasi jaringan. Di sinilah mekanisme TDMA dan agregasi data dijalankan oleh CH. CH harus senantiasa berada dalam posisi *standby* untuk berkomunikasi dengan anggota kluster, untuk kemudian melakukan proses agregasi dan pengiriman data ke BS. Di sinilah konsumsi energi terbesar terjadi [5].

2.2 K-Means Clustering

Clustering atau klusterisasi merupakan suatu teknik pengelompokan data dalam ilmu *machine learning* yang membagi populasi dengan sifat yang sama ke dalam sebuah kelompok-kelompok kecil. Algoritma K-Means sendiri merupakan salah satu metode *clustering unsupervised learning* yang mengelompokkan data dengan sistem partisi untuk meminimalisir adanya variasi data dalam sebuah kluster [18].

Algoritma K-Means akan melakukan pencarian titik pusat kluster secara iteratif, namun untuk titik kluster inisialisasi pertama akan ditetapkan secara acak. Setiap data (atau *node*) akan dihitung jaraknya ke titik pusat kluster dengan menggunakan rumus jarak *Euclidean* sebagaimana terlihat pada persamaan (1).

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - c_{kj})^2} \quad (1)$$

dimana x_{ij} merupakan data yang akan dikluster, c_{kj} merupakan titik pusat kluster awal. Suatu data (atau *node*) akan menjadi anggota kluster- i apabila jarak ke titik pusat kluster- i lebih kecil dibandingkan titik pusat kluster lainnya. Demikian proses terus berlanjut hingga seluruh data masuk ke dalam kluster [19].

2.3 Mekanisme K-Means Clustering untuk LEACH

Optimasi prosedur klustering pada protokol *routing* LEACH dilakukan pada fase yang pertama, yaitu *setup phase*. Proses klustering dengan menggunakan algoritma K-Means dimulai dengan penentuan jumlah kluster (k) yang diinginkan, kemudian titik pusat awal dari setiap kluster akan ditentukan secara acak. Sebagaimana prosedur pada algoritma K-Means, setiap data (SN) akan dilakukan perhitungan jarak dengan titik pusat yang telah

ditentukan dengan menggunakan persamaan (1). Setiap SN akan diklasifikasikan berdasarkan jarak terdekat dengan titik pusat kluster awal.

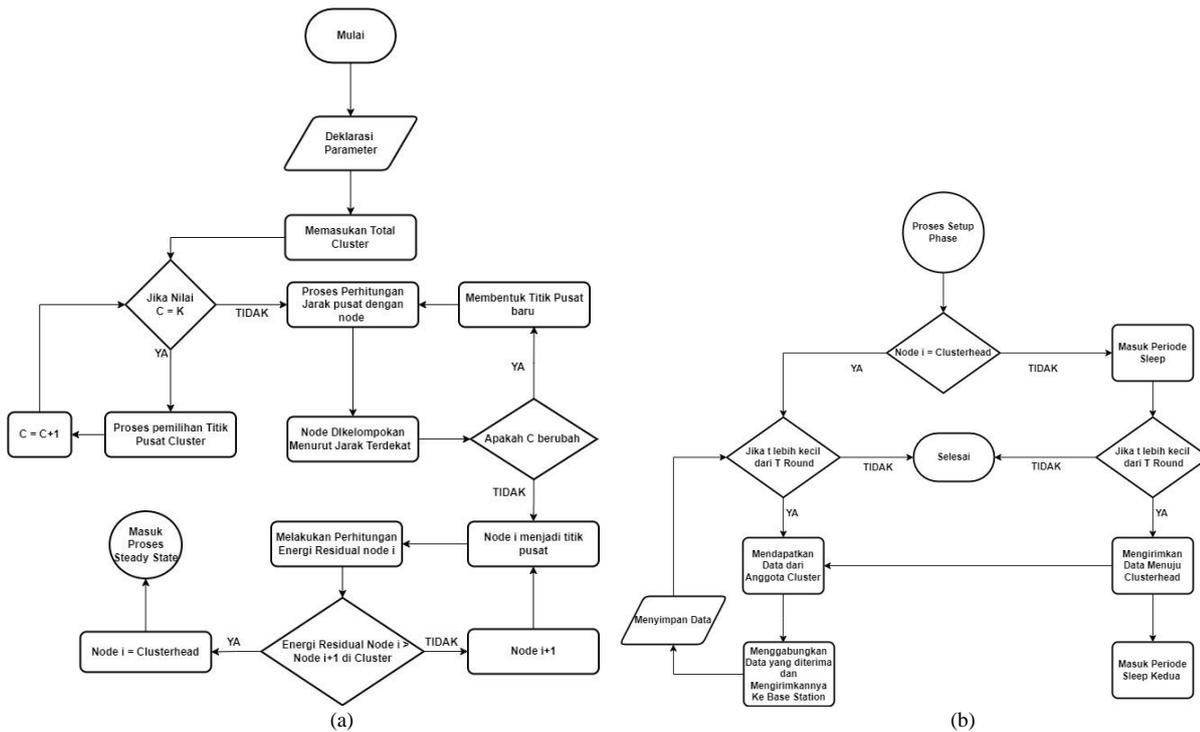
Setelah seluruh SN telah berada pada klusternya masing-masing, langkah selanjutnya adalah melakukan pembaharuan nilai dari titik pusat awal dengan menggunakan persamaan (2).

$$c_i = \frac{1}{|k_i|} \sum_{x_j \in k} x_j \quad (2)$$

Jarak antar node anggota kluster dengan titik pusat kluster yang baru akan dihitung kembali dengan menggunakan persamaan (1) untuk mengevaluasi apakah sudah merupakan jarak terdekat. Jika tidak, maka node akan berpindah kluster sesuai dengan perhitungan jarak ke titik pusat yang terdekat. Hal ini akan terus dilakukan secara berulang sampai diperoleh kestabilan dari nilai titik pusat, yang berarti posisi node pada kluster tidak lagi mengalami

perubahan. Secara detail, prosedur *setup phase* pada modifikasi protokol LEACH dengan K-Means (LEACH-KMe) *clustering* ditunjukkan melalui Gambar 2a.

Proses *steady state* pada LEACH-KMe tidak berbeda jauh dengan proses *steady state* pada protokol LEACH konvensional. Pertama-tama, protokol akan melakukan pengecekan terlebih dahulu apakah node tersebut merupakan CH. Jika ya, maka CH akan bertugas sebagaimana fungsinya. Sementara jika *node* tersebut bukan merupakan CH, maka node tersebut akan menunggu giliran untuk mengirimkan data sesuai dengan jadwal TDMA yang telah dibuat oleh CH. Setiap data yang terkirim ke CH akan dikompresi sebelum dikirimkan ke BS. Jika proses kompresi data telah selesai dilakukan, data akan dikirimkan ke BS, dan proses *steady-state phase* berakhir. Detail dari proses *steady-state* pada LEACH-KMe ditunjukkan melalui Gambar 2b berikut.



Gambar 2. Prosedur LEACH-KMe : (a) *Setup Phase* (b) *Steady-state Phase*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengevaluasi performansi dari protokol *routing* yang diusulkan (LEACH-KMe), sebuah simulasi dilakukan menggunakan simulator MatLab SimuLink R2021a. Matlab merupakan salah satu perangkat lunak yang dikembangkan oleh MathWorks.Inc untuk membantu dalam perhitungan numerikal berbasis matriks [20].

Dalam simulasinya, penelitian ini mengadopsi parameter-parameter yang pada umumnya digunakan dalam penelitian lainnya dalam mengevaluasi

performansi dari modifikasi protokol LEACH yang diusulkan [5]. Detail parameter yang digunakan dalam proses simulasi disimpulkan melalui Tabel 1.

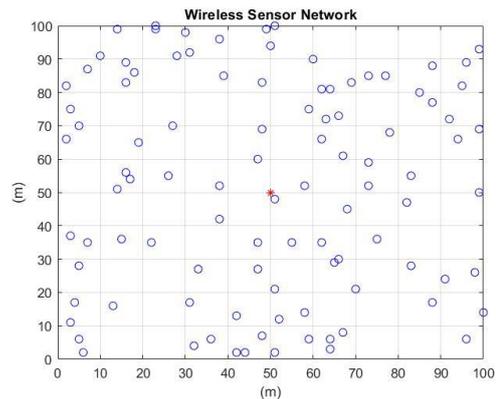
Parameter	Nilai
Jumlah node	100
Arena simulasi	100 x 100 m ²
Jumlah putaran (<i>round</i>)	400
Jumlah kluster (<i>k</i>)	8
Titik <i>Base Station</i>	(50,50)
Nilai probabilitas CH (%)	10
Energi awal node	0,5 Joule
Panjang data	4000 bits

Energi radio electronics	50nJ/bit
Parameter <i>Multipath Channel</i>	13nJ/bit/m ⁴
Parameter <i>Free-Space Channel</i>	10nJ/bit/m ²
Energi agregasi data	50nJ/bit

Dua parameter utama yang dijadikan sebagai acuan dalam melakukan komparasi antara protokol LEACH konvensional dan LEACH-KMe antara lain hasil klasterisasi node (*clustering formation*) dan masa hidup jaringan (*network lifetime*).

3.1 Hasil Klasterisasi Node

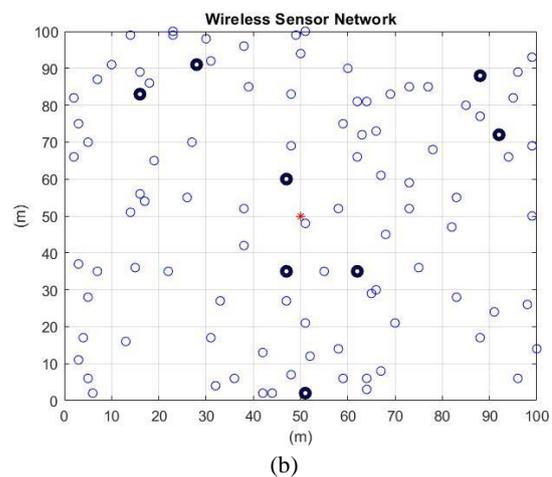
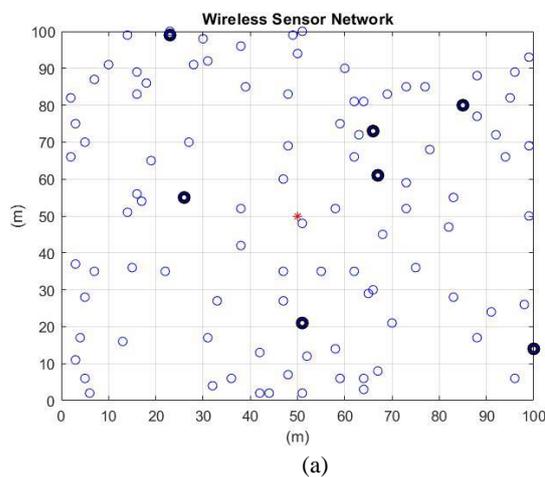
Prosedur pertama dalam proses simulasi adalah inisialisasi topologi awal WSN yang melibatkan 100 buah SN dan 1 buah BS, dan didistribusikan secara acak oleh sistem. Hasil inisialisasi topologi awal ditunjukkan oleh Gambar 3, dimana tanda silang merah menunjukkan lokasi BS sementara lingkaran biru merupakan penyebaran SN.



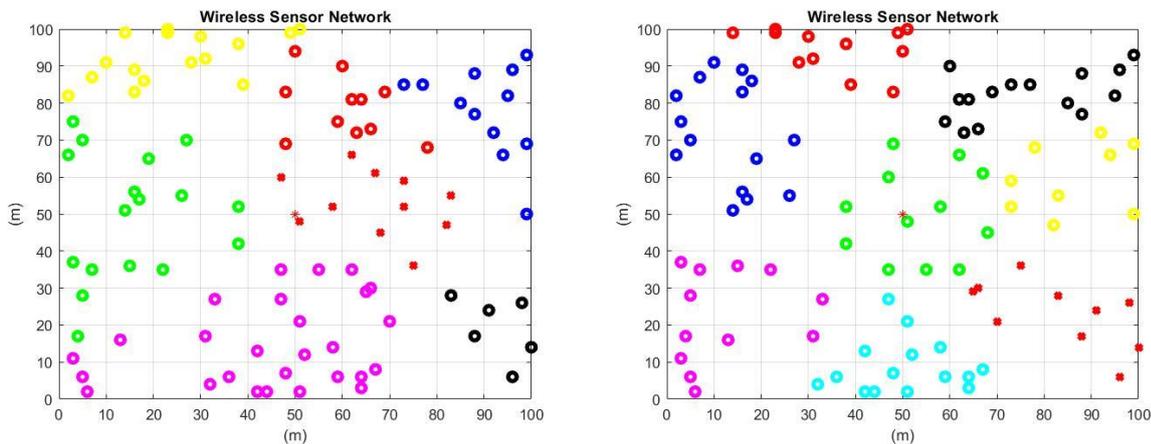
Gambar 3. Inisialisasi Topologi Awal Simulasi LEACH

Setelah topologi awal terbentuk, maka proses selanjutnya masuk dalam *setup phase*, yaitu pemilihan CH dan pembentukan klaster. Hasil pemilihan CH (lingkaran hitam) untuk LEACH konvensional ditunjukkan oleh Gambar 4a, sementara pemilihan CH untuk protokol LEACH-KMe ditunjukkan melalui Gambar 4b.

Terdapat perbedaan jumlah CH yang terpilih antara protokol LEACH konvensional dan protokol LEACH-KMe. LEACH konvensional menetapkan 7 CH untuk 100 *node*, sementara LEACH-KMe menghasilkan 8 CH untuk seluruh *node*. Banyaknya CH dalam jaringan akan mempengaruhi masa hidup dalam jaringan karena meminimalisir jarak antara CH dan SN.



Gambar 3. Persebaran CH (a) Protokol LEACH konvensional (b) Protokol LEACH-KMe



Gambar 5. Komparasi Hasil Pembentukan Kluster: (a) LEACH Konvensional (b) LEACH-KMe

Setelah pemilihan CH selesai, pembentukan kluster mulai dilakukan. Setiap SN akan menghitung jaraknya masing-masing terhadap seluruh CH dan bergabung dengan CH yang memiliki jarak terdekat dan sinyal terkuat. Terdapat dua mekanisme pengujian yang dilakukan, yaitu pembentukan kluster menggunakan protokol LEACH konvensional (Gambar 5a) dan pembentukan kluster menggunakan protokol LEACH-KMe (Gambar 5b).

Sesuai dengan jumlah CH yang terbentuk sebelumnya, LEACH konvensional menghasilkan 7 buah kluster, yang terwakilkan melalui perbedaan warna sebagaimana yang terlihat pada Gambar 5a. Namun, terjadi ketidakseimbangan jumlah node yang tersebar dalam kluster. Jumlah node terbanyak terdapat pada kluster berwarna ungu (sebanyak 27 node), sementara jumlah node paling sedikit ditemukan pada kluster berwarna hitam (sebanyak 6 node). Ketimpangan jumlah node ini menyebabkan penurunan energi secara drastis dari CH kluster ungu karena harus mengelola pertukaran informasi untuk 27 node sekaligus.

Namun, hasil pengujian pada protokol LEACH-KMe menunjukkan hasil persebaran node yang lebih merata dibandingkan protokol LEACH konvensional. Dengan jumlah kluster yang terbentuk sebanyak 8 kluster, jumlah node terbanyak pada kluster hanyalah 15 node (untuk kluster biru muda, hitam dan biru tua), sementara jumlah node paling sedikit pada kluster kuning terdapat 9 node. Sementara kluster lainnya berada pada rentang jumlah node antara 10-12 node. Sebagai kesimpulannya, persebaran node pada protokol LEACH-KMe terlihat lebih baik dan lebih merata apabila dibandingkan dengan protokol LEACH konvensional.

3.2 Masa Hidup Jaringan (*Network Lifetime*)

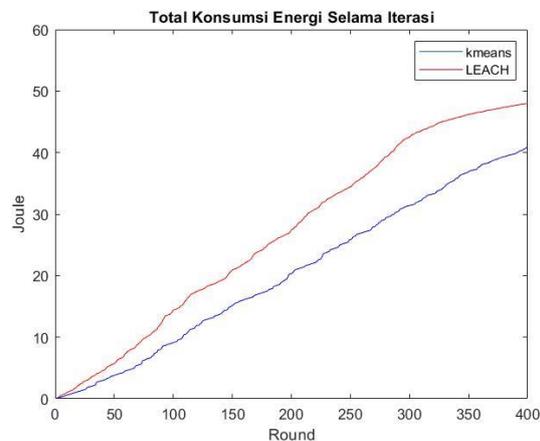
Tujuan utama pembentukan *clustering* dalam lingkungan WSN adalah untuk mengoptimalkan masa hidup jaringan, yaitu meminimalisir jumlah

konsumsi energi yang diperlukan selama proses komunikasi berlangsung.

Empat parameter utama yang menjadi pertimbangan dalam menilai masa hidup jaringan WSN dalam penelitian ini antara lain total konsumsi energi, jumlah node yang masih hidup (*alive node*), jumlah node yang mati (*dead node*) dan energi sisa yang dihasilkan oleh jaringan (*residual energy*).

Total konsumsi energi merupakan jumlah akumulasi energi yang dikeluarkan oleh setiap node selama proses transmisi data berlangsung. Simulasi dilakukan selama 400 putaran, dan didapatkan komparasi nilai total konsumsi energi yang dihasilkan oleh kedua protokol seperti yang terlihat pada Gambar 6.

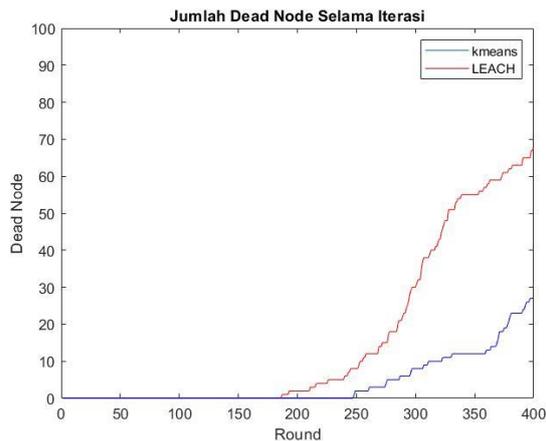
Hasil pengujian memperlihatkan bahwa protokol LEACH-KMe memiliki total konsumsi energi yang lebih sedikit apabila dibandingkan dengan protokol LEACH konvensional. Dalam 400 rounds, protokol LEACH-KMe membutuhkan total konsumsi energi hanya sebesar 40,86 Joule, sementara protokol LEACH konvensional membutuhkan setidaknya 47,99 Joule. Perbedaan total konsumsi energi terjadi sebagai dampak dari



Gambar 6. Komparasi Total Konsumsi Energi

hasil pembentukan kluster yang lebih merata pada protokol LEACH-KMe.

Pengujian terhadap masa hidup jaringan kedua didasarkan pada jumlah *dead node* selama proses simulasi berlangsung. *Dead node* sendiri didefinisikan sebagai kondisi dimana energi yang dimiliki oleh node kurang dari atau sama dengan 0J. Hasil dari pengujian terhadap *dead node* terlihat pada Gambar 7.

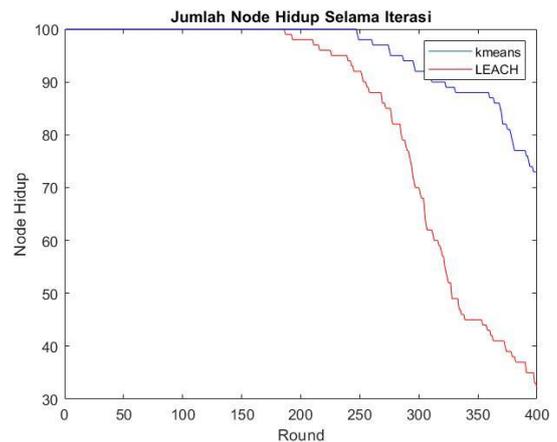


Gambar 7. Komparasi Jumlah Dead Node

Terlihat bahwa *dead node* pertama muncul pada protokol LEACH konvensional ketika memasuki round ke -150, sementara pada protokol LEACH-KMe, *dead node* mulai tampak pada round ke-240. Selain itu, terdapat perbedaan yang cukup signifikan terhadap jumlah *dead node* antara kedua protokol, dimana protokol LEACH konvensional mencapai 68 node, sementara jumlah *dead node* pada protokol LEACH-KMe hanya sebanyak 27 node untuk 400 putaran.

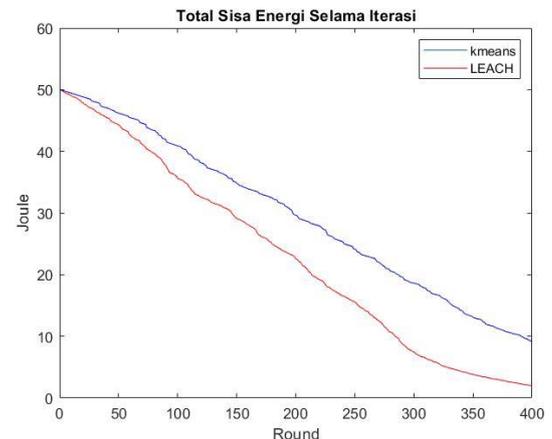
Parameter ketiga yang digunakan sebagai penilaian terhadap masa hidup jaringan adalah jumlah *alive node*. Kontradiksi dengan *dead node*, *alive node* merupakan jumlah node hidup yang masih tersisa selama proses transmisi data dalam jaringan WSN. Gambar 8 menunjukkan komparasi hasil pengujian terhadap *alive node* antara protokol LEACH konvensional dan LEACH-KMe. Protokol LEACH KMe menghasilkan jumlah *alive node* 41 node lebih banyak dibandingkan dengan protokol LEACH biasa. Yang berarti, protokol LEACH-KMe memiliki masa hidup jaringan yang lebih baik dibandingkan dengan protokol LEACH konvensional.

Parameter terakhir yang digunakan untuk mengetahui efektivitas masa hidup jaringan WSN adalah *residual energy*. *Residual energy* didefinisikan sebagai jumlah energi yang tersisa pada setiap node setelah proses transmisi data selesai dilakukan. Gambar 9 menunjukkan perbandingan jumlah energi yang tersisa pada masing-masing protokol.



Gambar 8. Komparasi Pengujian Jumlah Alive Node

Protokol LEACH-KMe menunjukkan efisiensi energi yang lebih baik selama proses transmisi data berlangsung sehingga memberikan energi sisa yang lebih banyak dibandingkan protokol LEACH konvensional. LEACH-KMe menghasilkan sisa energi sebesar 9,14 Joule sementara protokol LEACH konvensional hanya menyisakan energi sebesar 2,01 Joule saja.



Gambar 9. Komparasi Pengujian Residual Energy

4. KESIMPULAN

Penerapan teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN) sudah mulai banyak digunakan untuk menggantikan peran manusia dalam melakukan penginderaan secara jarak jauh. Teknologi WSN terdiri dari sekumpulan sensor yang melakukan proses pengamatan terhadap lingkungan, dan melaporkan informasi tersebut ke *gateway* yang dinamakan sebagai *base station*. Setiap sensor pada WSN sendiri sebenarnya memiliki banyak keterbatasan, seperti jumlah energi yang dimiliki, kapasitas penyimpanan, serta kemampuan dalam melakukan pemrosesan data. Keterbatasan energi yang dimiliki oleh sensor, yang juga diperkuat dengan penempatannya pada lokasi-lokasi yang sulit dijangkau, membuat proses pemeliharaan sulit untuk dilakukan (termasuk di dalamnya untuk pengisian daya).

Efisiensi energi masih menjadi salah satu isu krusial dalam penerapan teknologi WSN. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mencari metode yang paling tepat dalam menghemat energi sensor, salah satunya dengan mengoptimalkan mekanisme *routing* pada jaringan. *Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy* (LEACH) menjadi salah satu protocol *hierarchical routing* yang paling banyak digunakan karena dianggap mampu meminimalisir konsumsi energi melalui pembentukan kluster. Sayangnya, proses efisiensi energi tidak berjalan maksimal ketika pembentukan kluster tidak berhasil dilakukan sehingga menyebabkan adanya ketimpangan jumlah node yang tersebar pada kluster.

Penelitian ini mengusulkan sebuah optimasi proses klustering pada protocol LEACH dengan mengintegrasikan algoritma *clustering* K-Means, yang dinamakan protocol LEACH-KMe. Untuk mengetahui tingkat efektivitas protokol yang diusulkan, sebuah simulasi pengujian dengan menggunakan MatLab Simulink dilakukan dengan jumlah node sebanyak 100 node untuk 400 putaran. Dua parameter utama yang dijadikan sebagai acuan dalam melakukan komparasi antara protokol LEACH konvensional dan LEACH-KMe antara lain hasil klusterisasi node (*clustering formation*) dan masa hidup jaringan (*network lifetime*).

Hasil pengujian membuktikan bahwa protokol LEACH-KMe memberikan performansi yang lebih baik dibandingkan protokol LEACH konvensional. Protokol LEACH-KMe sanggup membuat persebaran node antar kluster jauh lebih merata, demikian pula dengan masa hidup jaringan pada protokol LEACH-KMe menunjukkan sebuah peningkatan yang lebih baik dibandingkan protokol LEACH konvensional. LEACH-KMe dapat memberikan *residual energy* yang lebih besar namun dengan jumlah total konsumsi energi yang lebih sedikit pada proses penransmisi data. Lebih lanjut, LEACH-KMe mampu mempertahankan energi sensor sehingga menghasilkan jumlah *alive node* yang lebih banyak dibandingkan protokol LEACH konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Bakshi and A. Srivastava, "Magnify Lifeless Nodes in WSN Using Shortest Path ALGO for Reducing Energy Diversion," *International Journal of Modern Communication Technologies and Research*, vol. 6, no. 6, pp. 6–8, 2018, [Online]. Available: www.erpublication.org
- [2] I. N. Khoerotunisa, S. N. Hertiana, and R. M. Negara, "Analysis of User Mobility Performance on Software Defined Wireless Network using Dijkstra Algorithm," *Jurnal Teknik Informatika (Jutif)*, vol. 2, no. 2, pp. 127–133, Mar. 2021, doi: 10.20884/1.jutif.2021.2.2.84.
- [3] J. Xu, N. Jin, X. Lou, T. Peng, Q. Zhou, and Y. Chen, "Improvement of LEACH Protocol for WSN," in *International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 2012, pp. 2174–2177.
- [4] P. Nayana Prabha and A. Ali, "Energy Efficient Threshold Based Cluster Head Selection and Optimized Routing in LEACH," in *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol. 26, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2019, pp. 1475–1486. doi: 10.1007/978-3-030-03146-6_173.
- [5] F. S. Mukti, A. Junikhah, P. M. A. Putra, A. Soetedjo, and A. U. Krismanto, "A Clustering Optimization for Energy Consumption Problems in Wireless Sensor Networks using Modified K-Means++ Algorithm," *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, vol. 15, no. 3, pp. 355–365, Jun. 2022, doi: 10.22266/ijies2022.0630.30.
- [6] S. Nasr and M. Quwaider, "LEACH Protocol Enhancement for Increasing WSN Lifetime," in *2020 11th International Conference on Information and Communication Systems, ICICS 2020*, Apr. 2020, pp. 102–107. doi: 10.1109/ICICS49469.2020.239542.
- [7] M. K. Sukma, I. D. Irawati, and Hafidudin, "Analisa Perbandingan Kinerja Routing Protokol pada Wireless Sensor Network (WSN) dengan Metode Gradient Based Approach dan Geographic Based Approach," in *e-Proceeding of Engineering*, 2015, pp. 169–176.
- [8] T. Pham, T. Quynh, and T. Nguyen Viet, "Improvement of LEACH based on K-means and Bat Algorithm," *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, vol. 8, no. 2, pp. 2456–1908, 2021, doi: 10.22161/ijaers.
- [9] U. A. Arrozaqi *et al.*, "Simulasi Routing Protokol pada Jaringan Sensor Nirkabel dengan Menggunakan Metode Cluster Based," Surabaya, 2011.
- [10] A. Ridwan, R. Ferdian, and R. Kurnia, "Optimasi Protokol LEACH untuk Meningkatkan Stabilitas pada Wireless Sensor Network," *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 4, no. 1, pp. 1–9, Feb. 2020, doi: 10.29207/resti.v4i1.1207.
- [11] S. K. Singh, P. Kumar, and J. P. Singh, "A Survey on Successors of LEACH Protocol," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 4298–4328, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2666082.
- [12] C. Fu, Z. Jiang, W. Wei, and A. Wei, "An Energy Balanced Algorithm of LEACH Protocol in WSN," *International Journal of*

- Computer Science Issues*, vol. 10, no. 1, pp. 354–359, 2013, [Online]. Available: www.IJCSI.org
- [13] M. Radhika and P. Sivakumar, “Energy optimized micro genetic algorithm based LEACH protocol for WSN,” *Wireless Networks*, vol. 27, no. 1, pp. 27–40, Jan. 2021, doi: 10.1007/s11276-020-02435-8.
- [14] Y. Li, L. Ding, and F. Liu, “The Improvement of LEACH Protocol in WSN,” in *International Conference on Computer Science and Network Technology*, 2011, pp. 1345–1348.
- [15] R. Sumiharto, R. Ilma, and R. Rif’Atunnisa, “Metode Routing Protokol LEACH pada Jaringan Sensor Nirkabel Studi Kasus Sistem Pemantauan Suhu dan Kelembaban Udara,” *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, vol. 9, no. 1, p. 87, Apr. 2019, doi: 10.22146/ijeis.44449.
- [16] H. Khan, M. N. Hayat, F. Khan, M. Y. Khan, and M. Shah, “Review of Cluster-based Energy Routing Protocols for WSNs,” *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, vol. 5, no. 6, 2016, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/309557591>
- [17] 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,” *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 14, no. 2, Aug. 2018, doi: 10.17529/jre.v14i2.11063.
- [18] A. Fauzan, A. Y. Badharudin, and F. Wibowo, “Sistem Klasterisasi Menggunakan Metode K-Means dalam Menentukan Posisi Access Point Berdasarkan Posisi Pengguna HotSpot di Universitas Muhammadiyah Purwokerto,” *JUITA*, vol. III, no. 1, pp. 25–29, 2014.
- [19] M. N. Sutoyo, “Algoritma K-Means,” Kolaka, 2019.
- [20] B. Cahyono, “Penggunaan Software Matrix Laboratory (Matlab) dalam Pembelajaran Aljabar Linier,” *Jurnal Phenomenon*, vol. 1, no. 1, pp. 45–62, 2013.

