

Simulasi *Fuzzy C-Means Clustering* Terhadap Efisiensi Energi Pada Komunikasi D2D

Fuzzy C-Means Clustering Simulation Of D2D Communication For Energy Efficiency

1st Nabiel Kahfi Munadi
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

nkahfim@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Arfianto Fahmi
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

arfianto.fahmi@telkomuniversity.ac.id

3rd Uke Kurniawan Usman
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

ukeusman@telkomuniversity.co.id

Abstrak

Komunikasi device-to-device (D2D) hadir sebagai teknologi yang mampu meningkatkan beberapa bagian layanan komunikasi seperti kehandalan, keefisienan energi core network, dan masih banyak lagi. Permasalahan pada energi di komunikasi D2D menjadi hal yang vital mengingat dalam keadaan tertentu seperti pada saat bencana alam, kerusakan pada core network maupun borosnya konsumsi energi bukanlah masalah yang dapat diabaikan. Metode clustering menjadi solusi atas permasalahan ini dengan mengelompokkan device-to-device user equipment (DUE) ke dalam cluster tertentu. Sehingga protokol routing antar DUE lebih terstruktur, hemat energi dan memperpanjang masa pakai jaringan. Algoritma Fuzzy c-means (FCM) menjadi suatu pilihan dalam penerapannya di ranah wireless sensor networks (WSN) dalam hal efisiensi energi pada node. Penelitian pada Tugas Akhir ini mengadopsinya ke ranah D2D karena pola kerja dan kerangka yang identik. Hasil akhir dari penelitian ini membandingkan 3 parameter uji, yaitu total konsumsi energi (Joule), jumlah operating nodes dan dead nodes. Hasil yang didapat dari penelitian menunjukkan bahwa penerapan algoritma FCM pada kerangka LEACH lebih efisien dalam hal konsumsi energi dengan konsumsi energi sebesar 96,7persen dari keseluruhan energi pada jaringan dengan total 100 node dibanding metode lain seperti LEACH tanpa penerapan FCM dengan konsumsi energi sebesar 99,9 persen dari

keseluruhan energi pada jaringan dengan total node yang sama.

Kata kunci : D2D, clustering, Fuzzy c-means, wireless sensor networks

Abstract

Device-to-device (D2D) communication is present as a technology that is able to improve several parts of communication services such as reliability,

energy efficiency of core network, and many more. Energy problems in D2D communication are vital considering that in certain circumstances, such as during a natural disaster, damage to the core network or wasteful energy consumption is not a problem that can be ignored. The clustering method is a solution to this problem by grouping device-to-device user equipment (DUE) into certain clusters. So that the routing protocol between DUE is more structured, saves energy and extends network life. Fuzzy c-means (FCM) algorithm is an option in its application in the realm of wireless sensor networks (WSN) in terms of energy efficiency at nodes. The research in this Final Project adopted it into the D2D realm because of the identical work patterns and frameworks. The final result of this study compares 3 test parameters, namely total energy consumption (Joules), the number of operating nodes and dead nodes. The results obtained from the study show that the application of the FCM algorithm to the LEACH framework is more efficient in terms of energy consumption with energy consumption of 96.7 percent of the total energy in the network with a total of 100 nodes compared to other methods such as LEACH without the application of FCM with an energy consumption of 99.9 percent of the total energy in the network with the same total nodes.

Keywords : D2D, clustering, Fuzzy c-means, wireless sensor networks

I. PENDAHULUAN

Di era digitalisasi seperti sekarang, peningkatan jumlah produksi smartphone terus meningkat selaras dengan permintaan yang selalu bertambah. Berdasarkan badan pusat statistik, persentase penduduk yang menggunakan smartphone terus mengalami peningkatan dari 56,92% pada tahun 2015 meningkat hingga 63,53% pada tahun 2019 [1]. Meningkatnya

kebutuhan pasar smartphone tentunya menyebabkan kebutuhan layanan data juga semakin besar, baik itu berupa kapasitas data, kecepatan unggah, kecepatan unduh, maupun kecepatan laju data secara keseluruhan. Hal ini menjadikan traffic data pada jaringan seluler terus bertambah, yang jika dibiarkan dapat mengakibatkan delay dikarenakan ketidakmampuan base station (BS) menangani layanan seluler dalam suatu cell jaringan seluler. Komunikasi device-to-device (D2D) yang merupakan release ke12 dari Badan Standardisasi 3rd Generation Partnership Project (3GPP) hadir sebagai konsep yang menjanjikan dalam permasalahan ini.

Komunikasi D2D merupakan sebuah teknologi yang membolehkan perangkat pengguna atau user equipment (UE) terhubung satu sama lain dengan melompati rute dasarnya yaitu core network dengan syarat jarak antar UE masih relatif dekat [2]. Mempunyai keunggulan tidak bergantung kepada core network menjadikan komunikasi D2D lebih baik dalam efisiensi energi, efisiensi spektral dan mengurangi delay dalam keseluruhan jaringan [2]. Efisiensi energi menjadi perhatian utama dari komunikasi D2D, karena di sini energi merupakan sumber daya terbatas. Salah satu metode untuk meningkatkan efisiensi energi adalah dengan metode *clustering*, seperti *k-means clustering*, *spectral clustering*, DBSCAN, dan lain-lain. Metode *clustering* bekerja dengan mengelompokkan node pada area-area tertentu sehingga pendistribusian paket data antar node menjadi teratur.

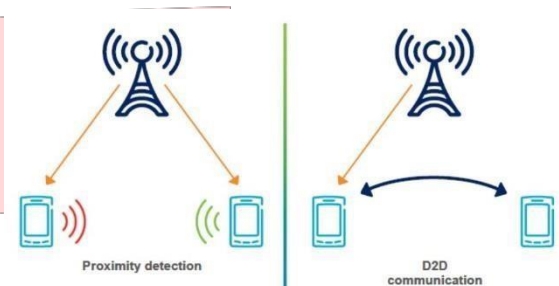
Penelitian pada tugas akhir ini melakukan simulasi dengan metode fuzzy cmeans *clustering* (FCM) [3]. FCM memiliki kelebihan berupa titik data atau node dapat menjadi bagian lebih dari satu *cluster*. Metode FCM sendiri telah banyak diimplementasikan pada wireless sensor networks (WSN), namun pada Tugas Akhir ini FCM diadopsi kedalam ranah komunikasi D2D mengingat pola dan kerangka antara WSN dan D2D identik.

II. KAJIAN TEORI

A. Komunikasi D2D

Komunikasi D2D merupakan sebuah konsep yang diluncurkan pada Release 12 oleh 3GPP yang membolehkan terjadinya interkoneksi antar UE dalam batasan jarak tertentu tanpa harus terhubung *core network*. Konsep komunikasi D2D ini memberikan banyak keuntungan seperti peningkatan kehandalan, efisiensi energi *core network* dan area cakupan.

Komunikasi D2D hadir sebagai sebuah metode yang diharapkan dapat meminimalisir masalah tersebut dengan memanfaatkan kedekatan jarak antar perangkat. Perangkat-perangkat yang terhubung secara langsung satu sama lain tanpa melalui CN disebut *proximity devices*. Layanan-layanan yang dapat diterapkan pada komunikasi D2D seperti *multiplayer game*, distribusi konten, video sharing dan lain sebagainya. Dengan kelebihan berupa komunikasi langsung antar perangkat, komunikasi D2D dapat meningkatkan efisiensi energi, efisiensi spektral, fairness, dan penurunan delay [2].



GAMBAR 2.1 Komunikasi D2D.

B. Pengelompokan komunikasi D2D

Skema komunikasi D2D secara garis besar dibagi menjadi dua yaitu skema yang bekerja pada spektrum seluler berlisensi (*inband*) atau tidak berlisensi (*outband*). Penelitian pada artikel ini menggunakan *inband* berjenis *overlay*.

Pada skema *overlay* penggunaan sumber daya spektrum dibagi antara seluler dan D2D sehingga dapat mengalokasikan sumber daya khusus untuk node. Skema *overlay* lebih mudah untuk diterapkan daripada *underlay*.

Selain dikelompokkan berdasarkan alokasi spektrum komunikasi D2D dapat diklasifikasi berdasarkan jenis penggunaannya sebagai berikut.

1. *Device Relaying Operator Control* (DR-OC)
2. *Direct D2D Communication with Operator Controlled* (DC-OC)
3. *Device Relaying with Device Controlled* (DR-DC)
4. *Direct D2D Communication with Device Controlled* (DC-DC)

Penelitian pada Tugas Akhir ini menerapkan konsep D2D berjenis DC-OC dengan adanya sebuah BS yang dikelilingi oleh node yang tersebar secara acak. Jenis ini dapat menukar

informasi seperti mengirim dan menerima pesan atau data tanpa harus mengikutsertakan BS sepenuhnya. Pada DC-OC BS hanya bertindak sebagai autentikasi akses, pengendali koneksi dan alokasi sumber daya.

C. Metode *Clustering* pada Komunikasi D2D

Clustering sejatinya adalah suatu metode dari pembelajaran *unsupervised* di bidang *machine learning* yang banyak diimplementasikan metodenya ke dalam bidang lain. *Clustering* mengelompokkan suatu data acak dari penempatan data yang acak pula berdasarkan algoritma dari *clustering* tersebut. Tujuan dasarnya adalah mengelompokkan setiap titik data yang memiliki kemiripan satu dan lainnya ke dalam sebuah *cluster*. Kemiripan tersebut dapat berupa koordinat atau nilai yang berdekatan dan derajat keanggotaan setiap titik data yang tersebar.

1. Algoritma *Fuzzy C-means*

Fuzzy c-means (FCM) adalah sebuah algoritma yang bekerja dengan metode pengelompokan data terhadap suatu nilai atau titik random dari sebuah *cluster* ditentukan oleh derajat keanggotaan. Konsep dasar dari FCM adalah penentuan pusat *cluster* yang secara berulang hingga mendapat pusat akhir yang disebut *centroid*. *Centroid* berfungsi untuk menandakan lokasi rata-rata untuk setiap *cluster*. Pada awalnya *centroid* masih belum akurat. Setiap titik data mempunyai derajat keanggotaan untuk setiap *cluster*. Untuk mendapatkan lokasi *centroid* yang tepat maka derajat keanggotaan setiap titik data dan lokasi *centroid* diperbaharui secara berulang. Perulangan tersebut didasari oleh pengurangan fungsi objektif yang menggambarkan jarak dari letak node yang diberikan ke *centroid* yang berbobot[9].

$$C_j = \frac{\sum_i [\mu_j(x_i)]^m x_i}{\sum_i [\mu_j(x_i)]^m} \quad 2.(1)$$

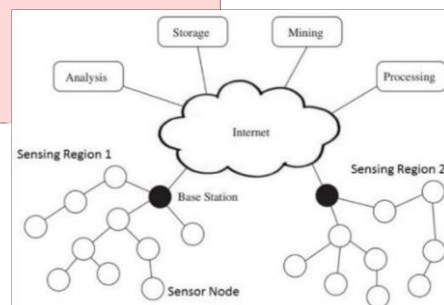
$$D_i = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad 2.(2)$$

$$\mu_j(x_i) = \frac{[\frac{1}{d_{ji}^2}]^{1/m-1}}{\sum_{k=1}^c [\frac{1}{d_{ki}^2}]^{1/m-1}} \quad 2.(3)$$

C_j pada persamaan 2.(1) mengacu pada bagian tengah *cluster* atau dapat disebut *centroid*. μ pada Persamaan 2.(3) merupakan keanggotaan node (i) terhadap *cluster* (j), atau disebut juga dengan *membership* yang nilainya pasti di antara 0 hingga 1, m adalah nilai *fuzzifier* yang bernilai lebih besar dari 1, lalu Perhitungan jarak antara node ke setiap *centroid* menggunakan persamaan 2.(2).

D. *Wireless Sensor Network*

Jaringan WSN adalah suatu jaringan yang terdiri dari ratusan sensor node pada luas wilayah tertentu, setiap sensor tersebut dapat terhubung satu sama lain. Pada WSN terdapat BS yang terhubung dengan banyak node melalui saluran radio. Proses transmisi data menjadi hal utama yang diperhatikan dalam WSN karena mempengaruhi masalah konsumsi energi. WSN dapat mengumpulkan jenis-jenis data seperti tekanan, suhu, objek bergerak dan sebagainya. Transmisi data terjadi secara berulang pada WSN kemudian informasi diteruskan ke BS dengan cara *single hop* atau *multi hop*.



GAMBAR 2.2 WSN [2].

1. Protokol *Routing*

Protokol *routing* merupakan akan aturan mengenai rute transmisi data antara node hingga BS agar terbentuk jalur komunikasi yang sesuai. Kemudian protokol *routing* bertanggung jawab untuk meneruskan paket data di antara dan di dalam *cluster*. Protokol *routing* dalam WSN sendiri terbagi menjadi 3 yaitu protokol berdasarkan node, berdasarkan sumber, dan berdasarkan tujuan. Pada penelitian ini penulis menerapkan protokol berdasarkan node.

2. LEACH

Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) adalah sebuah protokol *routing* berbasis *clustering* yang umum digunakan sebagai *routing* pada jaringan WSN. LEACH menjadi algoritma awal yang telah banyak diteliti dalam optimisasi penggunaan energi jaringan WSN. Pada tahap awal LEACH memilih suatu node sebagai *cluster head* (CH), kemudian dengan algoritma *clustering*-nya LEACH memilih node selain CH sebagai anggota yang terhubung dengan setiap CH sehingga terbentuk *cluster*. LEACH tidak hanya mendistribusikan CH untuk satu node dalam masing-masing *round*, setiap node dapat dipilih untuk menjadi CH secara acak. Sehingga setiap node berkesempatan

dipilih sebagai CH untuk mengurangi konsumsi energi dan memperpanjang masa hidup jaringan [11].

Protokol LEACH memiliki beberapa tahapan dalam *clustering*. Berikut adalah tahapantahapan yang ada pada LEACH:

a. Fase Inisialisasi

Pada fase ini dilakukan inisialisasi parameter seperti luas area yang diamati, jumlah node, jumlah *cluster*, besar energi (Joule), dan lain sebagainya.

b. Fase Setup

Pada fase ini terjadi pembentukan cluster dan pemilihan CH, sesuai algoritma yang diterapkan. Pada fase setup ini rumus-rumus FCM diterapkan seperti persamaan 1,2, dan 3. Setelah FCM diterapkan maka tahap berikutnya adalah iterasi dengan Algoritma LEACH.

Algoritma LEACH dimulai dari titik data CH yang telah terpilih pada proses FCM sebelumnya. Selanjutnya Algoritma LEACH memilih node lain berdasarkan persentase CH yang diinginkan. Lalu setiap node mempertimbangkan apakah menjadi CH atau tidak selama *round* tersebut berdasarkan sisa energi pada node. Keputusan diambil oleh node *n* yang memilih angka acak di antara 0 dan 1. Jika angka tersebut kurang dari batas *threshold*, maka node tersebut menjadi CH untuk *round* tersebut.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1-p \cdot (r \bmod \frac{1}{p})} & , \text{if } n \in G \\ 0 & , \text{otherwise} \end{cases} \quad 2.(4)$$

Keterangan dari persamaan 2.(4) : P = Persentase CH yang diinginkan *r* = *Round* saat ini *G* = Jumlah node yang belum pernah menjadi CH selama 1/P sesi terakhir Dengan menggunakan batas *threshold* ini maka tiap node menjadi CH dari sekumpulan node dalam 1/P sesi.

c. Fase Steady

Pada fase ini terjadi transmisi data dari node menuju CH dilanjutkan ke BS melalui CH hingga perhitungan konsumsi energi yang dialami oleh setiap node.

3. Model Energi Radio

$$E_{elec} x k + E_{fs} x k x d^2 \quad 2.(5)$$

$$E_{elec} x k + E_{mp} x k x d^4 \quad 2.(6)$$

$$d_0 = \sqrt{\frac{E_{fs}}{E_{mp}}} \quad 2.(7)$$

Pada persamaan di atas E_{Tx} dibagi menjadi dua keadaan yaitu pada saat $d < d_0$ dan saat $d > d_0$. $d < d_0$ untuk *free space* dan $d > d_0$ untuk *multipath*, namun pada simulasi ini hanya menggunakan skema *multipath* untuk link komunikasi selular yaitu dari CH ke BS dan *free space* untuk node D2D ke CH masing-masing *cluster*.

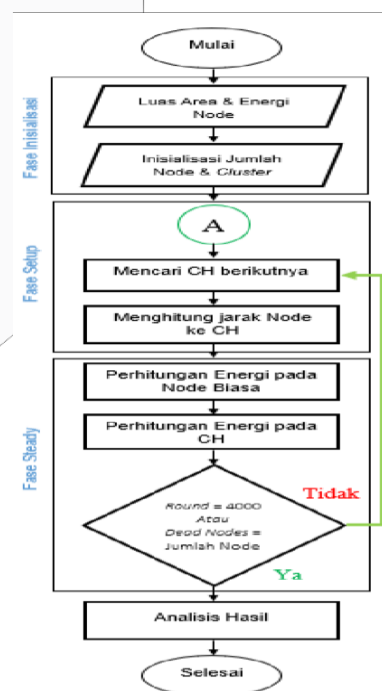
E. Parameter Analisis

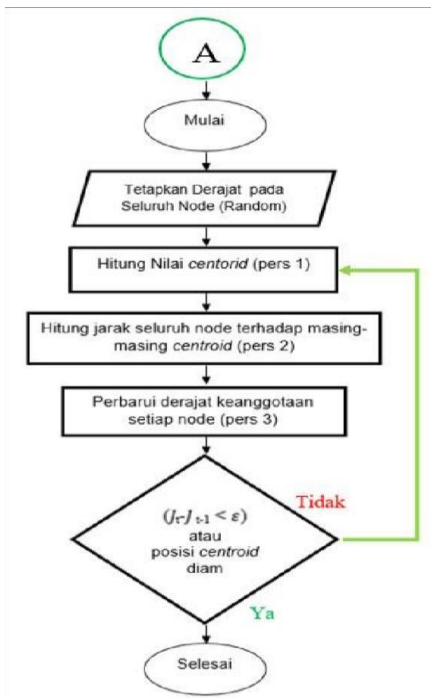
1. Konsumsi energi: Merupakan akan nilai rata-rata konsumsi energi hingga *round* berakhir dari setiap node.
2. *Operating nodes*: Merupakan akan jumlah node yang masih tersisa pada *round* terakhir.
3. *Dead nodes*: Merupakan akan jumlah node yang telah mati pada *round* terakhir.

III. METODE

A. Diagram Alir Penelitian

Dalam perancangan simulasi *clustering* menggunakan FCM untuk komunikasi D2D pada penelitian ini, disusun sebuah urutan langkah kerja yang sistematis, yang kemudian dituangkan pada diagram alir penelitian. Diagram alir penelitian artikel ini dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah ini.





GAMBAR 3.1 Diagram alir penelitian dan diagram alir FCM.

B. Model Sistem

Model sistem yang diusulkan tercantum pada Gambar 3.1. Tahapan pada pemodelan sistem ini dibagi menjadi 3 fase.

Fase pertama adalah fase inisialisasi awal dengan penyebaran node secara acak (random). Diasumsikan node tersebar secara acak dalam suatu area, dalam penelitian ini area yang digunakan (100x100) m², (300x300) m², (500x500) m² dengan energi awal setiap node sama. Selanjutnya penentuan letak BS yang berada pada posisi tengah dan letak BS yang ditarik sebesar 50 meter ke arah vertikal atau Sumbu-Y dari setiap luas area tersebut. Selain itu parameter lain seperti jumlah cluster menjadi perbandingan.

Fase *setup* membentuk beberapa cluster sesuai input dengan sebuah CH pada masing-masing cluster tersebut, Dalam fase inilah algoritma FCM diterapkan. Fase *setup* dibagi menjadi 3 tahapan seperti yang ditampilkan pada

gambar 3.1. Tahap awal adalah memilih CH terdekat dengan *centroid* yang telah di tetapkan FCM. *Centroid* adalah titik tengah (khayal) setiap cluster yang dihasilkan FCM. Sebelum memilih CH terlebih dulu mengelompokkan titik node kedalam masing-masing cluster menggunakan FCM dengan mempertimbangkan jarak antara

satu node dengan node lain, bobot keanggotaan setiap node terhadap setiap cluster, dan jumlah cluster. Sebagai hasilnya node dapat dikelompokkan kedalam cluster tertentu yang tetap, lalu dilakukan perhitungan jarak antara node ke CH.

Pada fase *steady* terjadi proses transmisi data yang berkaitan dengan penggunaan energi dari setiap node yang telah dioptimisasi dengan FCM. Sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan fase sebelumnya. Fase ini sama dengan protokol LEACH yang diterapkan pada jaringan WSN. Fase *steady* dimulai setelah pembentukan cluster dan pemilihan CH. Pada saat transmisi data stabil, node dalam cluster mengirimkan data ke BS tetapi tidak secara langsung, melainkan mengirimkannya ke CH terlebih dahulu.

C. Desain Sistem

Desain sistem dari artikel ini dapat dilihat pada tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3.1 Desain Sistem.

Parameter	Nilai
Jumlah Node	100
Jumlah Cluster	3 cluster per 100 node
	10 cluster per 100 node
	14 cluster per 100 node
Initial Energy (E ₀)	1 J per 1 node
Transmit Energy (E _{Tx})	50 nJ/bit
Receive Energy (E _{Rx})	50 nJ/bit
Energy Data Aggregation (E _{DA})	5 nJ/bit
Amplify Energy (E _{amp}), (E _{fs})	0.0013 pJ/bit, 10 nJ/bit
Electronic Circuit Energy (E _{elec})	50 nJ/bit

TABEL 3.2 Variasi Luas Area.

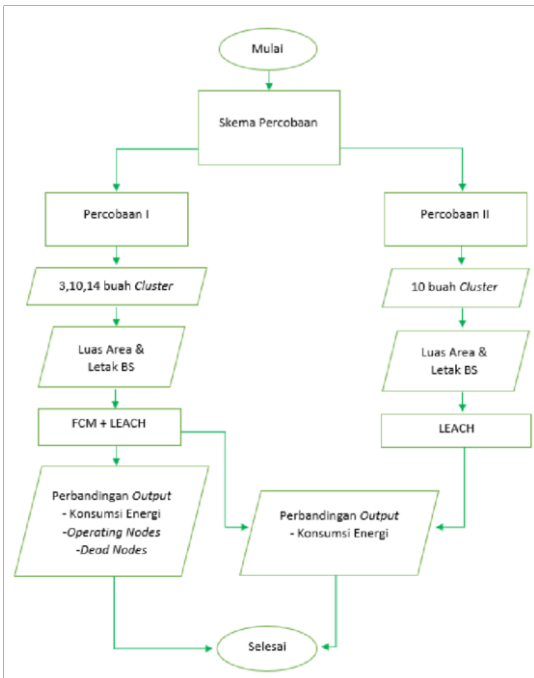
Parameter	1	2	3
Luas Area	(100 x 100) m ²	(300 x 300) m ²	(500 x 500) m ²

TABEL 3.3 Variasi Lokasi BS.

Lokasi	(Tengah dari Sb-X, +50 meter dari Sb-Y)
BS	(Tengah dari Sb-X, Tengah dari Sb-Y)

Pada artikel ini nilai-nilai parameter

desain sistem dan skenario luas area dapat dilihat dari tabel 3.1 dan tabel 3.2.



GAMBAR 3.2 Diagram Perbandingan Percobaan.

Gambar 3.2 menerangkan perbandingan dari kedua percobaan yang dilihat dari pengaruh konsumsi energi, Operating nodes, dan dead nodes pada saat letak BS sebagai titik lokasi pembentukan cluster diberi variasi. Namun untuk percobaan yang hanya menggunakan LEACH, parameter luas area dan letak BS hanya menguji dengan percobaan 1 dengan luas area (100x100) m² dan posisi BS ditengah area.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Perubahan Jumlah Cluster.

TABEL 4.1 Mean Operating Nodes.

Mean Operating nodes				
Iterasi	25 x	50 x	75 x	100 x
Jumlah Cluster				
3 Cluster	26,72	21,02	18,92	19,46
10 Cluster	20,6	20,18	20,76	19,28
14 Cluster	22,64	22,58	22,6	22,93

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat pengaruh jumlah cluster terhadap eksistensi operating nodes yang tersisa pada round 4000. Dilakukan iterasi program sebanyak 25 kali, 50 kali, 75 kali, dan 100 kali (dalam satu iterasi ada 4000 round). Masing-masing iterasi menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah cluster maka semakin

tinggi mean dari operating nodes. Hal tersebut disebabkan karena semakin banyak jumlah cluster pada suatu area maka jarak nodes ke CH semakin dekat, sehingga energi yang dikeluarkan oleh setiap device semakin kecil, dan menyisakan operating nodes yang lebih banyak.

Tabel 4.2 Mean Konsumsi Energi.

Mean Konsumsi Energi (Joule)				
Iterasi	25 x	50 x	75 x	100 x
Jumlah Cluster				
3 Cluster	96,094	97,568	98,046	98,149
10 Cluster	93,963	95,043	95,296	95,52
14 Cluster	93,809	93,98	93,998	94,043

Dari tabel di atas terlihat bahwa semakin banyak jumlah cluster semakin rendah pula rata-rata konsumsi energi dari seluruh node. Hal ini sesuai dengan teori dan sama halnya dengan jumlah rata-rata operating nodes yang tersisa pada analisis sebelumnya. Hal tersebut terjadi karena seiring bertambahnya jumlah cluster maka jarak antara node biasa dengan CH semakin dekat, sehingga energi yang dikeluarkan untuk pengiriman data pun semakin kecil.

TABEL 4.3 Rekapitulasi pada Jumlah Cluster Berbeda.

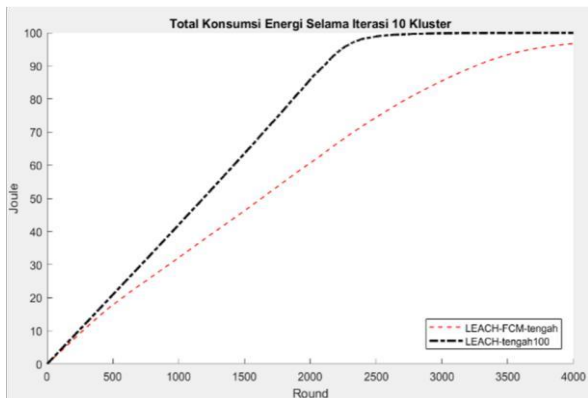
Perubahan Jumlah Cluster								
Cluster	Iterasi 25 kali		Iterasi 50 kali		Iterasi 75 kali		Iterasi 100 kali	
	O	K	O	K	O	K	O	K
3	26,72	21,02	18,92	19,46	20,6	20,18	20,76	19,28
10	22,64	22,58	22,6	22,93	26,72	21,02	18,92	19,46
14	20,6	20,18	20,76	19,28	22,64	22,58	22,6	22,93

setiap iterasi = 4000 round

B. Analisis berdasarkan Luas Area dan Lokasi BS

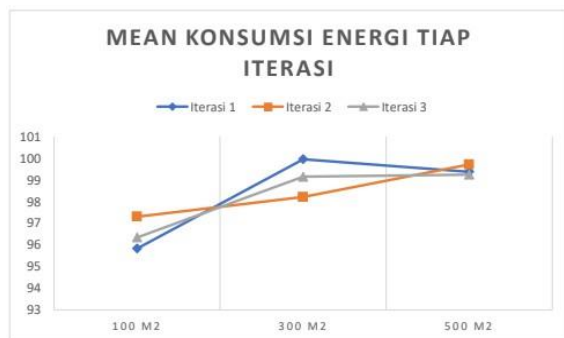
Pada artikel ini terdapat tiga luas area yang berbeda. Luas area yang berbeda itu menyebabkan

output konsumsi energi, *operating nodes*, dan *dead nodes* berbeda.



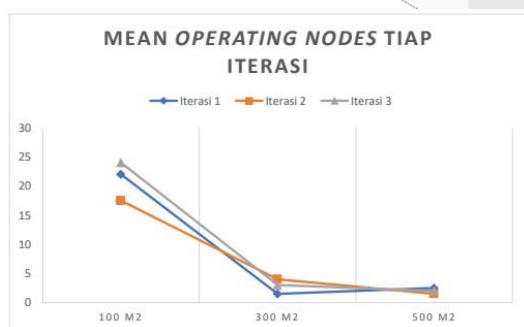
GAMBAR 4.2 Konsumsi Energi FCM-LEACH dan LEACH.

Gambar 4.2 menampilkan perbandingan antara FCM-LEACH dan LEACH dengan jumlah *cluster* sebanyak 10 *cluster*, luas area sebesar (100x100) m², dan posisi BS berada di tengah area.



GAMBAR 4.3 Mean Konsumsi Energi dari Tiap Iterasi.

Gambar 4.3 merupakan mean konsumsi energi dari masing-masing iterasi (*running Matlab*) mulai dari iterasi pertama hingga iterasi ketiga yang menganalisis hasil berdasarkan mean perubahan luas area.



GAMBAR 4.4 Mean *Operating Nodes* dari Tiap Iterasi.

Gambar 4.4 merupakan mean *operating nodes* dari masing-masing iterasi (*running Matlab*) mulai dari iterasi pertama hingga iterasi ketiga yang menganalisis hasil berdasarkan mean perubahan luas area.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi, didapat kesimpulan sebagai berikut:

- A. Mean konsumsi energi sebesar 20 Joule pada *round* ke-500 pada luas Area (100 x 100)m². Namun pada luas area (300 x 300)m² dan (500 x 500)m² berturut turut sebesar 68 Joule dan 85 Joule. Semakin jauh jarak maka semakin banyak energi yang dikonsumsi pada node untuk mengirim paket data.
- B. Jumlah *cluster* yang sedikit mengakibatkan ukuran *cluster* membesar dan jarak antara node dalam *cluster* semakin jauh, begitupun sebaliknya.
- C. Sisa mean *operating nodes* mulai 3, 10, dan 14 *cluster* pada iterasi terbanyak (100 kali), berturut-turut adalah 19,46 node, 19,28 node, dan 22,93 node. Ini menunjukkan semakin banyak jumlah *cluster* semakin banyak pula sisa *operating nodes*.
- D. Sisa mean konsumsi energi dari seluruh node mulai 3, 10, dan 14 *cluster* pada iterasi terbanyak (100 kali), berturut-turut adalah 98,149 Joule, 95,52 Joule, dan 94,043 Joule. ini menunjukkan semakin banyak jumlah *cluster* semakin sedikit energi yang dikonsumsi.
- E. Sisa *operating nodes* berbanding terbalik dengan konsumsi energi pada node, semakin banyak sisa *operating nodes* pada akhir *round* menandakan konsumsi energi yang sedikit.
- F. FCM-LEACH yang menggunakan 10 *cluster* dengan mean konsumsi energi sebesar 96,692 Joule pada *round* 4000 mengungguli LEACH yang telah mencapai mean konsumsi energi sebesar 99,943 Joule pada *round* 4000.
- G. *Clustering* menggunakan FCM mengelompokkan node-node berdasarkan lokasi node tersebut dan jarak sesama node. Node yang saling berdekatan memiliki nilai kemiripan yang tinggi.
- H. Faktor random berupa penyebaran node secara acak menyebabkan hasil menjadi lebih beragam.
- I. Semakin banyak *cluster*, semakin dekat jarak antar link komunikasi CH-Node (D2D link), akan tetapi link komunikasi CH-BS (*cellular link*) menjadi lebih banyak dan jauh.

REFERENSI

- [1] Statistik Telekomunikasi Indonesia 2019 (BPS), Available: <https://www.bps.go.id/publication/2020/12/02/be999725b7aeee62d84c6660/statistiktelekomunikasi-indonesia-2019.html>. [Diakses 20 Maret 2021].
- [2] Mahda Noura, Rosdiadee Nordin, "A Survey on Interference Management for Device-to-Device (D2D) Communication and its Challenges in 5G Networks," Selangor, Malaysia, 2016.
- [3] Fuzzy C-Means *Clustering* for Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Network, Available: <https://www.ijsr.net/archive/v8i9/ART2020987.pdf>. [Diakses 30 Desember 2021].
- [4] Shihab Jimaa, Kok Keong Chai, Yue Chen, Yasir Alfadhil, "LTE-A an Overview and Future Research Areas," presented at IEEE 7th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), Shanghai, China, 2011.
- [5] Green-Communication-for-Cognitive-Cities, Available: https://www.researchgate.net/publication/332204555_Green_Communication_for_Cognitive_Cities. [Diakses 23 April 2021].
- [6] Abdul Rehman Javed, Rabia Abid, Bakhtawar Aslam, Hafiza Ammara Khalid, Mohammad Zubair Khan, Omar H. Alhazmi and Muhammad Rizwan, "Green5G_Enhancing Capacity and Coverage in Device-to-Device Communication," 2020.
- [7] 17.04.3337_bab2, Available: <https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/home/catalog/id/158135/slug/analisis-performansi-penerapan-komunikasi-inband-device-to-device-menggunakan-jaringan-lte-advanced.html>. [Diakses 22 April 2021].
- [8] Modifikasi Inisialisasi *Cluster head* menggunakan Fuzzy C-Means *Clustering* untuk Efisiensi Energi pada Proses Data Gathering di Lingkungan Wireless Sensor Network, 2020 Available: <https://repository.its.ac.id/77616/>. [Diakses 22 April 2021].
- [9] Mirza, Muhammad Faisal, "metode *clustering* dengan algoritma fuzzy c-means untuk rekomendasi pemilihan bidang keahlian pada program studi informatika," Universitas Dian Nuswantoro, 2021.
- [10] Blog.2g4g, "D2D communication," 2013. Available: <https://blog.3g4g.co.uk/2013/01/>, [Diakses 30 Januari 2022].
- [11] Geeksforgeeks, "Sensor network architecture," Available: <https://www.geeksforgeeks.org/sensor-network-architecture/>. [Diakses 28 Februari 2022].
- [12] Zahid Yousif, Intesab Hussain, Soufiene Djahel, "A Novel Energy-Efficient *Clustering* Algorithm for More Sustainable Wireless Sensor Networks Enabled Smart Cities Applications," 2021.
- [13] Rahil Bensaid, Maymouna Ben Said, Hatem Boujemaa, "Fuzzy C-Means based *Clustering* Algorithm in WSNs for IoT Applications," presented at 2020 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC), Limassol, Cyprus, 2020.
- [14] Electronicshub, "Basics of Wireless Sensor Networks (WSN) | Classification, Topologies, Applications," Available: <https://www.electronicshub.org/>. [Diakses 2 Mar 2022].
- [15] Romain Chevillon, Guillaume Andrieux, Jean-François Diouris, "Overlay *Inband* D2D-e Network Using Fuzzy C-Means *Clustering* for Disaster Situations," presented at 2018 European Conference on Networks and Communications (EuCNC), Ljubljana, Slovenia, 2018.
- [16] A. S. Raghuvanshi, S Tiwari, R Tripathi, N. Kishor, "Optimal number of *clusters* in wireless sensor networks: An FCM approach" presented at 2010 International Conference on Computer and Communication Technology (ICCT), Allahabad, India, 2010.