

Pengembangan Alokasi Sumber Daya Pada Sistem Komunikasi Vehicle To Everything Berbasis Clustering Fuzzy C-Means dan Algoritma Greedy

Karla Nathania Putri

School of Electrical Engineering

Telkom University

Bandung, Indonesia

karlanathaniaput@student.telkomuniversity.ac.id

Linda Meylani

School of Electrical Engineering

Telkom University

Bandung, Indonesia

lindameylani@telkomuniversity.ac.id

Vinsensius Sigit Widhi Prabowo

School of Electrical Engineering

Telkom University

Bandung, Indonesia

vinsensiusvsw@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Seiring berkembangnya teknologi kendaraan cerdas dan sistem transportasi masa depan, kebutuhan akan komunikasi yang efisien dan real-time antar kendaraan dan infrastruktur menjadi semakin penting. Vehicle-to-Everything (V2X) menjadi salah satu pendekatan utama untuk mendukung konektivitas ini. Penelitian ini berfokus pada evaluasi performa sistem komunikasi V2X dengan menggunakan kombinasi algoritma clustering Fuzzy C-Means (FCM) dan algoritma alokasi sumber daya Greedy. Simulasi dilakukan dalam dua skenario dengan variasi posisi Base Transceiver Station (BTS) dan metode perhitungan performa pada saat sebagian user aktif ($t=0$) maupun seluruh user aktif. Parameter performa yang dianalisis meliputi sumrate, rata-rata data rate, spectral efficiency, power efficiency, dan fairness. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi FCM dan Greedy cenderung optimal dalam memaksimalkan kapasitas sistem, dengan sumrate tertinggi mencapai 37,30 Mbps pada skenario 2 untuk perhitungan user aktif. Namun, metode ini relatif kurang baik pada aspek fairness, dengan nilai tertinggi hanya 0,226, akibat alokasi yang lebih mengutamakan user dengan kualitas kanal terbaik.

Kata kunci— BTS, V2X, Fuzzy C-Means, FCM, Greedy, Resource Allocation, Sumrate, Fairness

I. PENDAHULUAN

Di era kendaraan otonom dan sistem transportasi cerdas, kebutuhan akan komunikasi yang cepat dan andal, baik antar kendaraan maupun antara kendaraan dengan infrastruktur, menjadi semakin krusial. Vehicle-to-Everything (V2X) hadir sebagai salah satu solusi utama untuk mendukung konektivitas ini [1], mencakup komunikasi antar kendaraan (V2V) [2] serta komunikasi antara kendaraan dan infrastruktur (V2I). Teknologi seperti Dedicated Short Range Communication (DSRC) memungkinkan pertukaran data jarak pendek secara real-time, yang sangat penting bagi keselamatan lalu lintas, terutama pada situasi dengan mobilitas tinggi dan kondisi jalan yang dinamis.

Salah satu pendekatan yang semakin populer dalam sistem V2X adalah *platooning*, yaitu pembentukan formasi kendaraan yang bergerak rapat untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar, kapasitas jalan, dan kestabilan lalu lintas [3]. Dalam skenario ini, komunikasi antar kendaraan dalam formasi memiliki peran vital. Keterbatasan sumber daya komunikasi dapat mengakibatkan gangguan sinkronisasi, putusnya formasi, bahkan risiko kecelakaan beruntun, misalnya saat pengereman mendadak. Oleh karena itu, strategi alokasi sumber daya pada jaringan V2X perlu memastikan distribusi bandwidth dan kualitas sinyal yang merata bagi seluruh anggota dalam suatu *cluster* [4].

Pendekatan *clustering* menjadi metode penting untuk mengelompokkan kendaraan berdasarkan kedekatan posisi maupun karakteristik jaringan. Meski tidak secara langsung menerapkan *platooning*, konsep formasi tersebut menjadi inspirasi dalam pembentukan kelompok. Dengan struktur *cluster* yang jelas, alokasi *resource block* (RB) dapat dilakukan secara lebih efisien, adaptif, dan adil, terutama pada kondisi lalu lintas yang padat dan berubah-ubah.

Namun, pertumbuhan jumlah kendaraan yang saling terhubung membawa tantangan tersendiri dalam mengelola spektrum frekuensi yang terbatas. Sistem komunikasi V2X perlu mengadopsi skema alokasi sumber daya yang mampu menyesuaikan diri dengan dinamika kanal dan pergerakan kendaraan [5]. Evaluasi kinerja sistem ini dilakukan menggunakan beberapa metrik utama, di antaranya: *data rate* untuk mengukur kecepatan pertukaran informasi; *spectral efficiency* untuk menilai pemanfaatan spektrum pada kondisi padat; *fairness* untuk memastikan pemerataan alokasi sumber daya; serta *power efficiency* yang mengukur efektivitas transmisi data dibandingkan dengan konsumsi daya.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi performa kombinasi algoritma Fuzzy C-Means (FCM) untuk *clustering* dan Greedy untuk alokasi sumber daya dalam sistem V2X

[6]. Evaluasi dilakukan melalui simulasi pada beberapa skenario, termasuk pengaruh perubahan posisi BTS serta status aktif pengguna. Diharapkan, penelitian ini dapat mengidentifikasi kombinasi algoritma yang optimal dalam meningkatkan efisiensi sistem dan menjaga keadilan distribusi *resource* pada kondisi jaringan yang kompleks.

II. KAJIAN TEORI

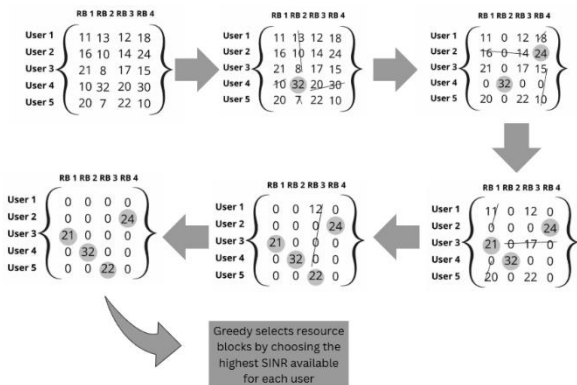
A. Fuzzy C-Means



GAMBAR 1 Konsep Fuzzy C-Means

Fuzzy C-Means (FCM) digunakan untuk mengelompokkan kendaraan berdasarkan posisi dan kecepatan mereka. FCM tidak memberikan keanggotaan secara tegas (*hard clustering*), melainkan memberikan derajat keanggotaan (*membership*) terhadap masing-masing cluster. Dengan kata lain, satu kendaraan bisa menjadi bagian dari lebih dari satu cluster secara bersamaan, dengan nilai keanggotaan yang berbeda-beda[7].

B. Algoritma Greedy



GAMBAR 2 Konsep Algoritma Greedy

Algoritma Greedy merupakan metode alokasi Resource Block (RB) yang menentukan keputusan berdasarkan pilihan terbaik pada kondisi saat itu (lokal), tanpa mempertimbangkan dampak terhadap hasil keseluruhan. Pada sistem komunikasi V2X, algoritma ini bekerja dengan memprioritaskan kendaraan yang memiliki nilai performa tertinggi, seperti data rate atau SINR, pada setiap langkah proses alokasi. Mekanismenya berlangsung secara berurutan, di mana setiap RB dialokasikan kepada pengguna dengan skor tertinggi yang belum menerima alokasi.

C. Data Rate

Data rate dalam sistem komunikasi V2X berperan penting dalam memastikan pengiriman informasi antar kendaraan maupun terhadap infrastruktur dapat berlangsung secara cepat dan akurat. Nilai *data rate* yang tinggi memungkinkan kendaraan untuk bertukar berbagai jenis data secara real-time, seperti peringatan tabrakan, informasi kecepatan, dan kondisi lalu lintas. *Data Rate* diukur dengan mengirimkan data pada berbagai ukuran dan menghitung kecepatan transfer data yang dicapai, menggunakan pengujian melalui simulasi untuk memastikan bahwa data rate yang diukur memenuhi atau melebihi target yang ditetapkan

$$Data\ Rate = Bandwidth \times \log_2(1 + SINR) \quad (1)$$

Dimana, *Bandwidth* merupakan lebar pita frekuensi (Hz), dan SINR merupakan rasio antara sinyal dengan interferensi serta noise.

D. Spectral Efficiency

Spectral Efficiency menggambarkan seberapa efisien sistem dalam memanfaatkan spektrum frekuensi yang tersedia. Dalam simulasi komunikasi V2X yang dikembangkan, efisiensi spektral yang tinggi memungkinkan sejumlah besar kendaraan maupun infrastruktur untuk saling bertukar data pada waktu yang sama, tanpa menimbulkan gangguan atau penurunan performa komunikasi. Hal ini menjadi sangat penting dalam skenario simulasi dengan kepadatan kendaraan yang bervariasi, karena menjaga sistem tetap stabil dan responsif merupakan kunci dalam mengevaluasi efektivitas algoritma alokasi sumber daya yang diuji.

$$SE = \frac{Total\ Data\ Rate}{Bandwidth\ System} \quad (2)$$

Dimana *Total Data Rate* merupakan jumlah *data rate* per n waktu dan *Bandwidth System* merupakan lebar pita frekuensi yang tersedia untuk sistem yaitu 10 Mhz

E. Power Efficiency

Power efficiency dalam alokasi sumber daya adalah kemampuan sistem dalam memilih user dan resource block (RB) sehingga rasio antara jumlah bit yang ditransmisikan dengan daya yang dikonsumsi menjadi maksimum. Hal ini berarti sistem tidak hanya fokus pada throughput tinggi, tetapi juga mempertimbangkan hemat daya untuk mendukung efisiensi energi.

$$Power\ Efficiency = \frac{Sumrate}{PT_x} \quad (3)$$

dengan *sumrate* merepresentasikan total data rate yang ditransmisikan, dan *PT_x* sebagai daya pancar (power transmit) yang digunakan.

F. Fairness

Fairness dalam alokasi sumber daya merupakan faktor kunci untuk menjaga kestabilan sistem komunikasi antar kendaraan. Dalam situasi di mana banyak kendaraan berbagi kanal komunikasi yang sama, penting untuk memastikan bahwa setiap kendaraan mendapatkan kesempatan yang setara dalam mengakses sumber daya jaringan. Pendekatan yang adil dalam distribusi resource block (RB) akan mencegah terjadinya dominasi oleh kendaraan tertentu, serta mengurangi risiko keterlambatan pengiriman data bagi kendaraan lain.

$$SE = \text{Jain's Fairness Index} = \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n \sum_{i=1}^n X_i^2} \quad (4)$$

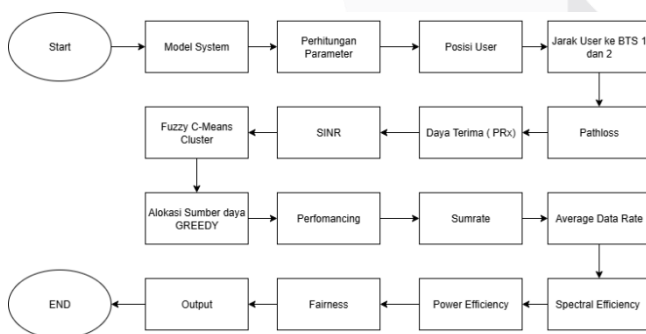
Dalam rumus Jain's Fairness Index, X_i merepresentasikan throughput yang diterima oleh kendaraan ke- i , sedangkan n menunjukkan jumlah total kendaraan yang berpartisipasi dalam jaringan komunikasi. Nilai indeks yang dihasilkan, dikenal sebagai JFI, berada dalam rentang 0 hingga 1. Semakin mendekati 1, maka distribusi alokasi sumber daya dianggap semakin adil di antara seluruh kendaraan yang terlibat. Sebaliknya, nilai yang mendekati 0 menunjukkan ketimpangan alokasi yang tinggi, di mana hanya sebagian kecil kendaraan yang memperoleh alokasi signifikan.

III. METODE

Memberikan gambaran rancangan penelitian yang meliputi prosedur atau langkah-langkah penelitian, waktu penelitian, sumber data, cara perolehan data dan menjelaskan metode yang akan digunakan dalam penelitian [10 pts].

A. Desain Sistem

Diagram ini menggambarkan alur utama dari pemodelan sistem, mulai dari perancangan parameter awal, proses clustering, alokasi sumber daya, hingga evaluasi performa sistem komunikasi antar kendaraan.



GAMBAR 3 Flowchart Desain Sistem

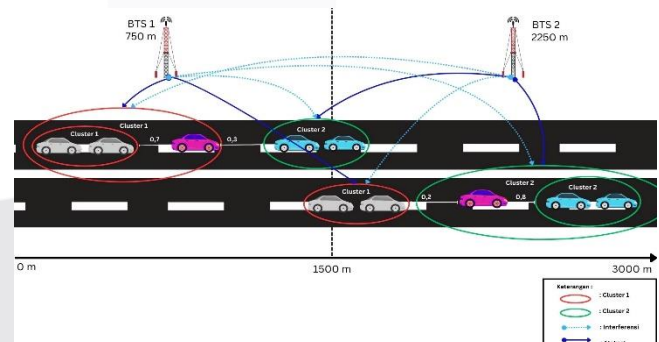
Simulasi dalam jurnal ini memodelkan komunikasi V2X pada jalan sepanjang 3 km dengan 60–150 kendaraan bergerak hingga 25 m/s. Dua Base Transceiver Station (BTS) digunakan dengan dua variasi posisi yaitu, skenario 1 di 750 m dan 2250 m, serta skenario 2 di 5 m dan 2995 m. Setiap iterasi simulasi menghitung posisi kendaraan terhadap BTS untuk memperoleh jarak, pathloss, PRx, dan akhirnya nilai SINR. Nilai SINR ini menjadi dasar proses clustering yang

dilakukan menggunakan Fuzzy C-Means (FCM). Hasil cluster kemudian digunakan untuk alokasi resource block (RB) menggunakan Genetic Algorithm, yang mengoptimalkan alokasi berdasarkan fairness dan efisiensi. Kombinasi FCM dengan Genetik ini menjadi fokus dalam jurnal, dan dievaluasi menggunakan lima metrik performa utama yaitu *sumrate*, *average data rate*, *spectral efficiency*, *power efficiency*, dan *fairness*.

TABEL 1 Parameter Skenario 1 dan 2

Parameters	Value
Jarak simulasi	3000 m
Waktu Simulasi	300 detik
Jumlah jalan	2
Jumlah kendaraan	60 – 150 per iterasi
Jumlah BTS	2
Posisi BTS Skenario 1	750 m dan 2250 m
Posisi BTS Skenario 2	5 m dan 2995 m
Frequency Carrier	2000 Mhz
Bandwidth system	10 MHz
Sub Carrier Spacing	15 KHz
Bandwidth Resource block	180
Jumlah Resource block	50
Pathloss Model	Cost231 Suburban
Gain Antena TX	3 dB
Gain Antena RX	3 dB
TRX Power (Downlink)	23 dBm

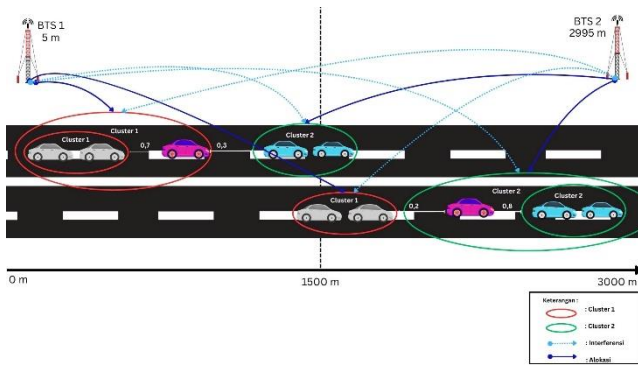
B. Skenario 1



GAMBAR 4 Skema Skenario 1

Pada skenario pertama, sistem komunikasi V2X disimulasikan pada jalan lurus sepanjang 3 km dengan jumlah kendaraan bervariasi antara 60 hingga 150. Dua Base Transceiver Station (BTS) ditempatkan secara statis pada posisi 750 meter dan 2250 meter untuk memastikan cakupan layanan mencakup seluruh ruas jalan secara proporsional.

C. Skenario 2



GAMBAR 5 Skema Skenario 2

Pada skenario kedua, sistem komunikasi V2X disimulasikan pada jalan lurus sepanjang 3 km dengan jumlah kendaraan bervariasi antara 60 hingga 150. Dua Base Transceiver Station (BTS) ditempatkan secara statis pada posisi 5 meter dan 2995 meter untuk mengevaluasi performa sistem ketika BTS berada di kedua ujung ruas jalan.

D. Evaluasi Perhitungan $t = 0$

Pada kondisi awal simulasi ($t = 0$), hanya sebagian kendaraan yang telah aktif. Meskipun trafik masih terbatas, sistem tetap melakukan proses clustering menggunakan Fuzzy C-Means (FCM) serta alokasi resource block menggunakan algoritma Genetika terhadap kendaraan yang sudah aktif. Evaluasi performa tetap mencakup sumrate, average data rate, spectral efficiency, power efficiency, dan fairness, sebagai baseline performansi awal untuk dibandingkan dengan kondisi penuh saat seluruh kendaraan telah aktif.

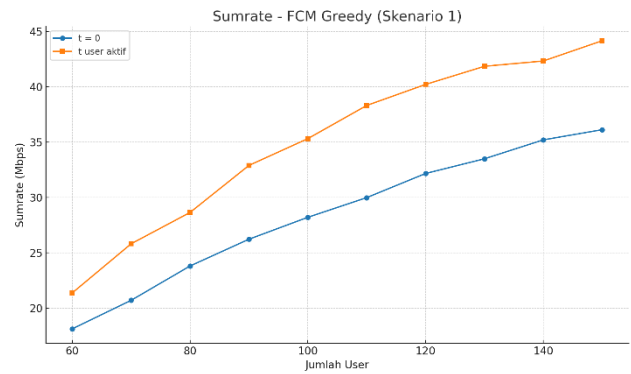
E. Evaluasi Perhitungan $t = \text{user aktif}$

Evaluasi dilakukan ketika seluruh kendaraan telah aktif dalam sistem, dengan jumlah berkisar antara 60 hingga 150 kendaraan yang tersebar di sepanjang ruas jalan 3 km.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

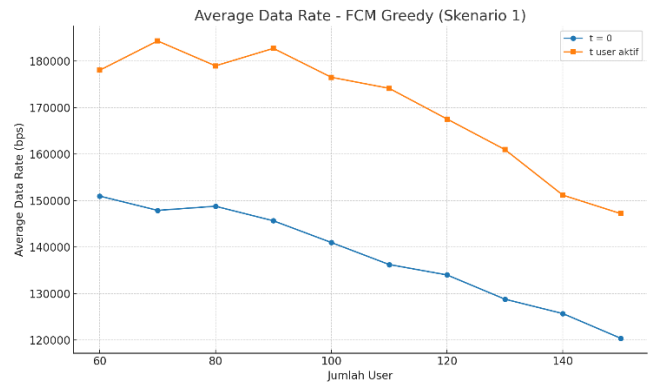
A. Skenario 1

Pada metrik sumrate, t user aktif secara konsisten menunjukkan nilai lebih tinggi dibanding $t = 0$. Pada kondisi t user aktif, nilai sumrate meningkat dari 21,37 Mbps pada 60 kendaraan hingga mencapai puncak 44,16 Mbps pada 150 kendaraan. Sementara itu, pada $t = 0$, nilai sumrate hanya naik dari 18,12 Mbps menjadi 36,12 Mbps. Perbedaan ini disebabkan oleh jumlah kendaraan yang aktif penuh pada t user aktif, sehingga kapasitas sistem dapat dimanfaatkan secara maksimal.



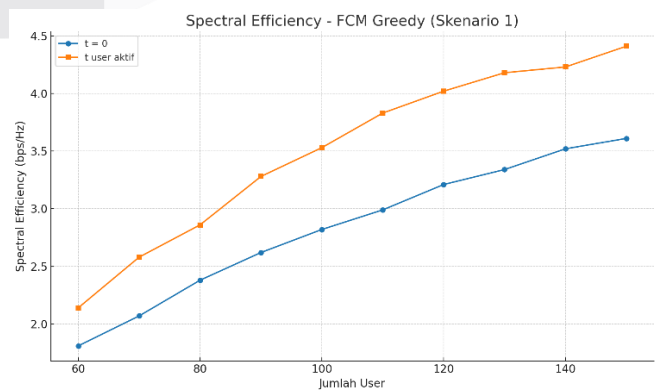
GAMBAR 6 Sumrate Skenario 1

Pada average data rate, t user aktif mengalami fluktuasi di mana nilai tertinggi mencapai 184.367,63 bps pada 70 kendaraan, kemudian menurun hingga 147.228,05 bps pada 150 kendaraan. Sebaliknya, $t = 0$ cenderung menunjukkan tren penurunan yang lebih stabil, dari 150.996,87 bps menjadi 120.412,54 bps. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun kapasitas total meningkat pada t user aktif, distribusi data rate per kendaraan dapat menurun ketika jumlah kendaraan semakin padat.



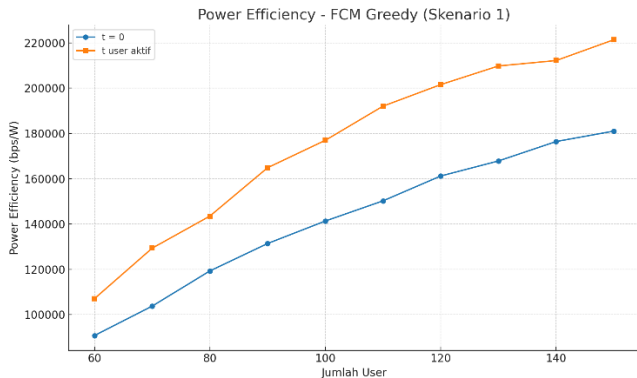
GAMBAR 7 Average Data Rate Skenario 1

Nilai spectral efficiency pada t user aktif juga lebih unggul dibanding $t = 0$. Pada t user aktif, nilai meningkat dari 2,14 bps/Hz menjadi 4,41 bps/Hz, sedangkan pada $t = 0$ hanya naik dari 1,81 bps/Hz menjadi 3,61 bps/Hz. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan spektrum menjadi lebih optimal ketika semua kendaraan aktif, karena jumlah RB yang digunakan lebih banyak dan distribusi kanal lebih efisien.



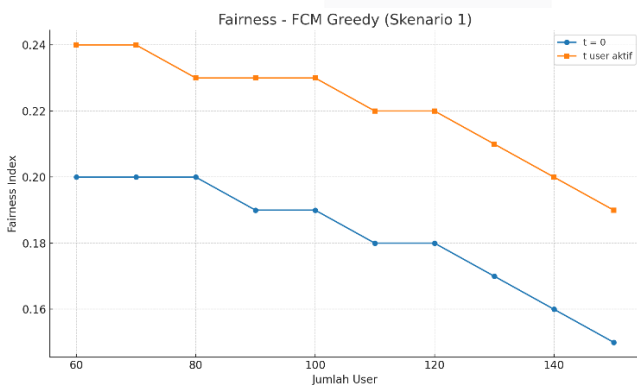
GAMBAR 8 Spectral Efficiency Skenario 1

Pada metrik power efficiency, kedua kondisi mengalami peningkatan seiring bertambahnya jumlah kendaraan. Pada t user aktif, nilai meningkat dari 107.094,39 bps/W menjadi 221.366,65 bps/W, sedangkan pada $t = 0$ naik dari 90.813,24 bps/W menjadi 181.047,69 bps/W. Kenaikan ini mengindikasikan bahwa efisiensi daya terhadap throughput menjadi lebih baik pada jumlah kendaraan yang tinggi, terutama saat semua kendaraan aktif.



GAMBAR 9 Power Efficiency Skenario 1

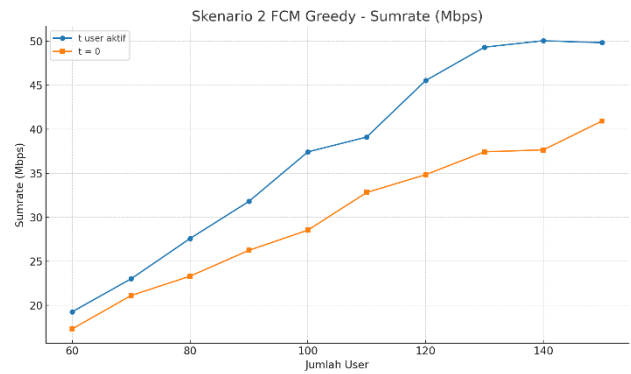
Metrik fairness menunjukkan tren penurunan pada kedua kondisi. Pada t user aktif, nilai fairness turun dari 0,24 pada 60 kendaraan menjadi 0,19 pada 150 kendaraan. Sedangkan pada $t = 0$, fairness turun dari 0,20 menjadi 0,15. Penurunan ini disebabkan oleh sifat algoritma greedy yang cenderung memberikan prioritas alokasi RB kepada kendaraan dengan kualitas kanal terbaik, sehingga pemerataan alokasi menjadi berkurang ketika jumlah kendaraan bertambah.



GAMBAR 10 Fairness Skenario 1

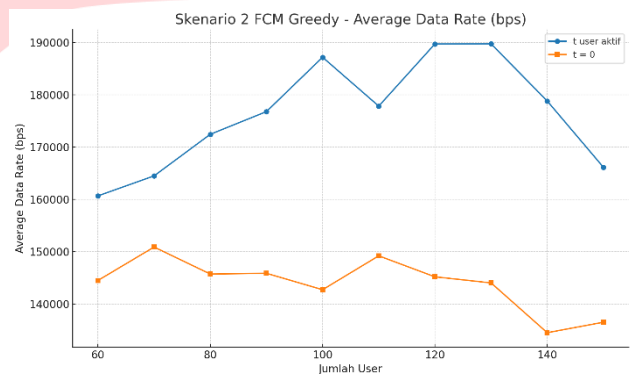
B. Skenario 2

Pada kondisi t user aktif, sumrate meningkat dari 19,27 Mbps (60 kendaraan) hingga puncaknya di 50,06 Mbps (140 kendaraan) sebelum sedikit menurun ke 49,84 Mbps (150 kendaraan). Pada $t = 0$, nilainya lebih rendah, dimulai dari 17,33 Mbps dan mencapai maksimum 40,95 Mbps (150 kendaraan). Perbedaan ini menunjukkan bahwa jumlah user aktif penuh memberikan kapasitas total yang jauh lebih besar dibanding kondisi awal.



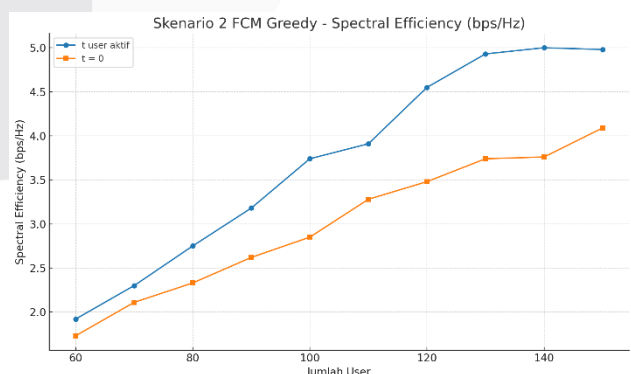
GAMBAR 11 Sumrate Skenario 2

Pada t user aktif, nilai tertinggi tercapai pada 189.735,3 bps (120 kendaraan) sebelum menurun di 150 kendaraan. Sedangkan $t = 0$ memiliki rata-rata lebih rendah, dengan puncak di 150.881,2 bps (70 kendaraan). Ini mengindikasikan bahwa kondisi awal trafik masih belum stabil dan belum mencapai kapasitas optimal.



GAMBAR 12 Average Data Rate Skenario 2

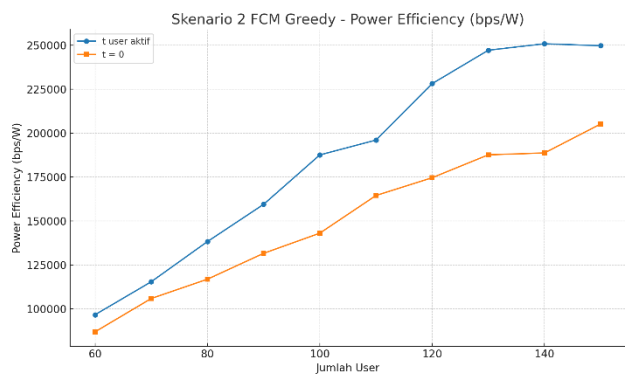
Pada t user aktif, efisiensi spektral naik dari 1,92 bps/Hz menjadi 5,00 bps/Hz, sedangkan pada $t = 0$ hanya mencapai 4,09 bps/Hz. Hal ini menandakan bahwa ketika semua kendaraan aktif, penggunaan spektrum menjadi lebih optimal.



GAMBAR 13 Spectral Efficiency Skenario 2

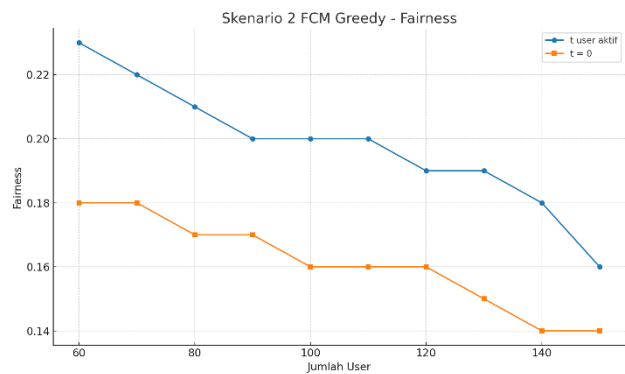
Pada t user aktif, efisiensi daya meningkat konsisten hingga 250.920,1 bps/W (140 kendaraan) sebelum sedikit menurun. Sedangkan $t = 0$ meningkat lebih lambat dan hanya mencapai 205.244,1 bps/W (150 kendaraan). Ini

menunjukkan bahwa sistem lebih hemat energi saat seluruh kendaraan aktif, terutama di jumlah kendaraan yang besar.



GAMBAR 14 Power Efficiency Skenario 2

Nilai fairness relatif rendah pada kedua kondisi. Pada t user aktif, nilainya berkisar antara 0,23 hingga 0,16, sedangkan pada t = 0 sedikit lebih rendah di rentang 0,18 hingga 0,14. Ini menunjukkan distribusi alokasi RB cenderung tidak merata, terutama pada jumlah kendaraan yang lebih besar.



GAMBAR 15 Fairness Skenario 2

C. Tabel Nilai Performancing Keseluruhan

TABEL 1 Nilai Performancing Keseluruhan

FCM Greedy	Skenario 1 User Aktif	Skenario 1 t=0	Skenario 2 User Aktif	Skenario 2 t=0
Sumrate (Mbps)	35.09	31.45	37.30	30.03
Average Data Rate (Mbps)	0.170	0.138	0.176	0.144
Spectral Efficiency (bps/Hz)	3.509	2.840	3.730	2.593
Power Efficiency (bps/mW)	175.879	142.353	186.965	150.72

Fairness	0.226	0.182	0.204	0.165
----------	-------	-------	-------	-------

V. KESIMPULAN

Pada Skenario 1, performa tertinggi terjadi pada kondisi t user aktif dengan rata-rata sumrate sebesar 35,09 Mbps, lebih tinggi dibandingkan kondisi t = 0 yang hanya mencapai 31,45 Mbps. Hal ini terjadi karena saat seluruh kendaraan aktif, pemanfaatan resource block (RB) lebih maksimal sehingga throughput meningkat. Nilai fairness tertinggi di skenario ini juga muncul pada t user aktif (0,226), meskipun perbedaannya tidak signifikan dengan t=0. Pada Skenario 2, tren serupa terlihat dengan t user aktif mencapai rata-rata sumrate 37,30 Mbps, sedangkan t=0 hanya 30,03 Mbps. Peningkatan ini juga tercermin pada average data rate (0,176 Mbps vs 0,144 Mbps) dan spectral efficiency (3,730 bps/Hz vs 2,593 bps/Hz). Namun, fairness di skenario ini sedikit lebih rendah dibanding skenario 1 (0,204 pada t user aktif), mengindikasikan distribusi alokasi yang kurang merata meskipun kapasitas lebih tinggi. Secara keseluruhan, kombinasi FCM Greedy cenderung lebih optimal untuk memaksimalkan kapasitas sistem (sumrate & spectral efficiency) pada saat semua kendaraan aktif. Namun, dari semua metrik performa yang diuji, metode ini relatif kurang baik terutama pada aspek fairness dan power efficiency. Hal ini disebabkan oleh sifat algoritma Greedy yang fokus memilih user dengan kondisi kanal terbaik terlebih dahulu, sehingga pengguna dengan kanal buruk sering kali tidak mendapatkan alokasi resource yang memadai, mengakibatkan distribusi kapasitas yang tidak merata dan efisiensi daya yang lebih rendah.

REFERENSI

[1] K. Z. Ghafoor, M. Guizani, L. Kong, H. S. Maghdid, and K. F. Jasim, "Enabling Efficient Coexistence of DSRC and C-V2X in Vehicular Networks," *IEEE Wirel Commun*, vol. 27, no. 2, pp. 134–140, Apr. 2020, doi: 10.1109/MWC.001.1900219.

[2] C. Xu, S. Wang, P. Song, K. Li, and T. Song, "Intelligent Resource Allocation for V2V Communication with Spectrum–Energy Efficiency Maximization," *Sensors*, vol. 23, no. 15, Aug. 2023, doi: 10.3390/s23156796.

[3] C. Bergenheim, E. Hedin, and D. Skarin, "Vehicle-to-Vehicle Communication for a Platooning System," *Procedia Soc Behav Sci*, vol. 48, pp. 1222–1233, 2012, doi: 10.1016/j.sbspro.2012.06.1098.

[4] M. Evans *et al.*, "Vehicle-to-Everything (V2X) Communication: A Roadside Unit for Adaptive Intersection Control of Autonomous Electric Vehicles," Sep. 2024, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2409.00866>

[5] J. Wang, Y. Shao, Y. Ge, and R. Yu, "A survey of vehicle to everything (V2X) testing," Jan. 02, 2019, *MDPI AG*. doi: 10.3390/s19020334.

[6] H. Choi, Y. Lee, G. Kim, E. Lee, and Y. Nam, "Resource Cluster-Based Resource Search and Allocation Scheme for Vehicular Clouds in

- [7] Vehicular Ad Hoc Networks,” *Sensors*, vol. 24, no. 7, Apr. 2024, doi: 10.3390/s24072175.
- C. R. Han, S. J. Lee, and I. G. Lee, “Performance Improvement of Fuzzy C-Means Clustering Algorithm by Optimized Early Stopping for Inhomogeneous Datasets,” *Journal of Information and Communication Convergence Engineering*, vol. 21, no. 3, pp. 198–207, 2023, doi: 10.56977/jicce.2023.21.3.198.
- [8] I. Khairullah Utama, L. Meylani, and V. Sigit Widhi Prabowo, “Algoritma Alokasi Sumber Daya Radio pada Sistem Komunikasi Nirkabel menggunakan Genetika dan Metode Clustering,” vol. 11, Dec. 2024.

