

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

Muhammad Rifqi Fauzan
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
muhammadrifqifauzan@student.telkom
university.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 Genetika. Simulasi dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi dinamis kanal dan posisi Base Transceiver Station (BTS) dalam dua skenario berbeda. Masing-masing skenario mempertimbangkan posisi Base Transceiver Station (BTS) dan metode perhitungan user baik yang hanya aktif maupun seluruh user sejak waktu simulasi awal. Parameter performa yang dianalisis meliputi sumrate, rata-rata data rate, spectral efficiency, power efficiency, dan fairness. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi FCM dan Genetika menghasilkan performa fairness tertinggi dengan nilai 0.3396 dalam skenario 1 untuk perhitungan user aktif. Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan ini mampu memberikan distribusi alokasi yang lebih adil dibanding metode lainnya.

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

I. PENDAHULUAN

Dalam era kendaraan otonom dan sistem transportasi cerdas, komunikasi yang cepat dan andal antar kendaraan maupun dengan infrastruktur menjadi semakin penting. Vehicle-to-Everything (V2X) merupakan salah satu solusi utama yang mendukung konektivitas ini[1], termasuk komunikasi antar kendaraan (V2V)[2] dan antara kendaraan dengan infrastruktur (V2I). Teknologi seperti Dedicated Short Range Communication (DSRC) memungkinkan komunikasi jarak pendek secara real-time yang krusial untuk keselamatan lalu lintas, terutama pada kondisi mobilitas tinggi dan lingkungan jalanan yang dinamis.

Salah satu pendekatan yang semakin banyak digunakan dalam sistem V2X adalah platooning, yakni formasi kendaraan yang bergerak berdekatan untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar, kapasitas jalan, dan kestabilan lalu lintas[3]. Dalam konteks ini, komunikasi antar kendaraan dalam formasi menjadi sangat penting. Ketika kendaraan dalam platoon tidak memperoleh sumber daya komunikasi yang memadai, hal ini dapat menyebabkan gangguan sinkronisasi, pemutusan formasi, dan peningkatan risiko kecelakaan beruntun, misalnya saat terjadi pengereman mendadak. Maka dari itu, strategi alokasi sumber daya dalam jaringan V2X harus dapat menjamin kelancaran distribusi bandwidth dan sinyal kepada seluruh anggota dalam cluster[4].

Clustering menjadi pendekatan kunci untuk mengelompokkan kendaraan berdasarkan kedekatan spasial maupun karakteristik jaringan. Meskipun tidak secara eksplisit menerapkan sistem platooning, inspirasi dari formasi kendaraan tersebut menjadi dasar dalam proses pengelompokan. Dengan adanya cluster yang terstruktur, sistem dapat mengalokasikan resource block (RB) secara lebih efisien, adaptif, dan adil terhadap kondisi jaringan yang padat dan dinamis.

Namun, meningkatnya jumlah kendaraan yang terhubung juga membawa tantangan baru dalam pengelolaan spektrum frekuensi yang terbatas. Sistem komunikasi V2X harus mampu merespons kebutuhan ini melalui skema alokasi sumber daya yang adaptif terhadap dinamika kanal dan posisi kendaraan[5].

Untuk mengevaluasi performa sistem ini digunakan beberapa metrik utama, seperti data rate yang mengukur kecepatan pertukaran informasi antar entitas; spectral efficiency yang menggambarkan seberapa efisien sistem dalam menggunakan spektrum pada kondisi jaringan padat; fairness yang memastikan keadilan distribusi sumber daya antar pengguna; serta power efficiency yang merepresentasikan rasio efisiensi transmisi data terhadap konsumsi daya.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi performa kombinasi algoritma Fuzzy C-Means (FCM) untuk clustering dan Genetic Algorithm untuk alokasi sumber daya dalam sistem V2X[6]. Evaluasi dilakukan melalui simulasi pada beberapa skenario, termasuk 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

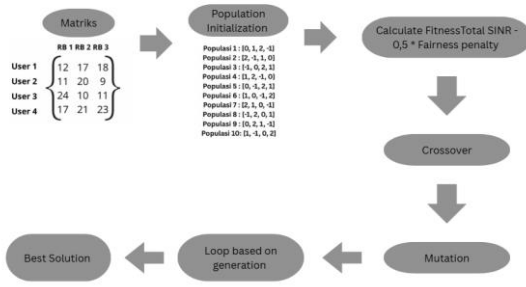
A. Fuzzy C-Means



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 Genetika



GAMBAR 2
Konsep Algoritma Genetika

Algoritma Genetic adalah metode optimasi yang digunakan untuk mencari alokasi Resource Block (RB) yang optimal melalui proses iteratif. Proses ini melibatkan tiga tahapan utama, yaitu seleksi, crossover, dan mutasi. Setiap kemungkinan alokasi dievaluasi menggunakan fungsi fitness, seperti data rate atau fairness[8].

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.

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

dengan *sumrate* merepresentasikan total data rate yang ditransmisikan, dan *PTx* 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.

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

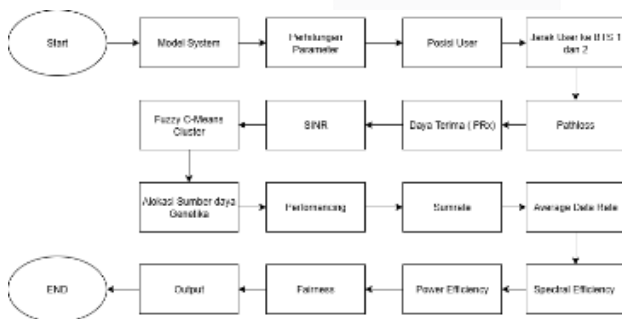
Dalam rumus Jain's Fairness Index, X_i merepresentasikan throughput yang diterima oleh kendaraan ke- i , sedangkan n menunjukkan jumlah total kendaraan yang berpartisipasi dalam jaringan komunikasi. Nilai indeks yang dihasilkan, dikenal sebagai JFI, berada dalam rentang 0 hingga 1. Semakin mendekati 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

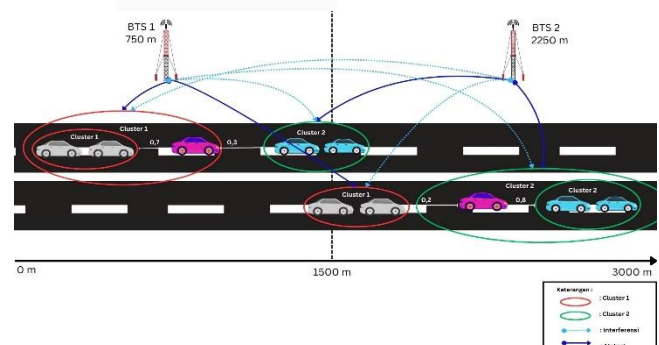
Simulasi dalam jurnal ini memodelkan komunikasi V2X pada jalan sepanjang 3 km dengan 60–150 kendaraan bergerak hingga 25 m/s. Dua Base Transceiver Station (BTS) digunakan dengan dua variasi posisi yaitu, skenario 1 di 750 m dan 2250 m, serta skenario 2 di 5 m dan 2995 m. Setiap iterasi simulasi menghitung 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

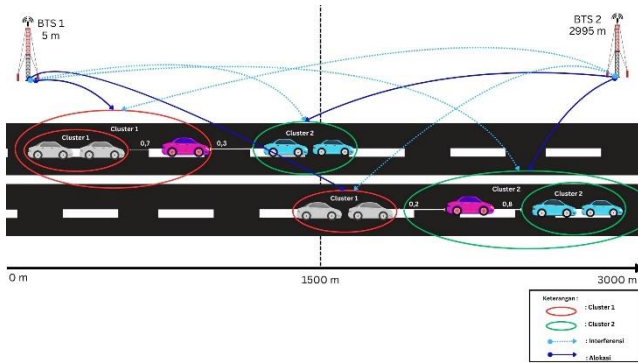
B. Skenario 1



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.

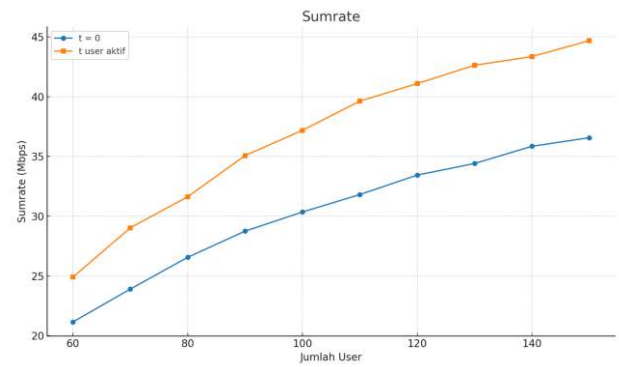
E. Evaluasi Perhitungan $t = \text{user aktif}$

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

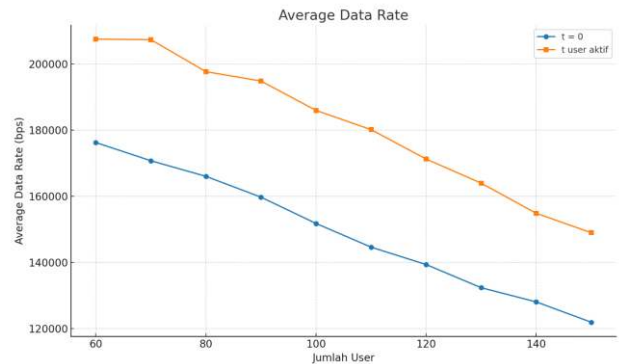
A. Skenario 1

Nilai sumrate meningkat dari 21.15 Mbps (60 user, $t=0$) menjadi 44.69 Mbps (150 user, t user aktif). Rata-rata peningkatan sumrate dari $t=0$ ke t user aktif di semua jumlah user adalah sekitar 17.4%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa semakin banyak kendaraan aktif secara bersamaan, sistem mampu mengalokasikan lebih banyak resource secara efektif..



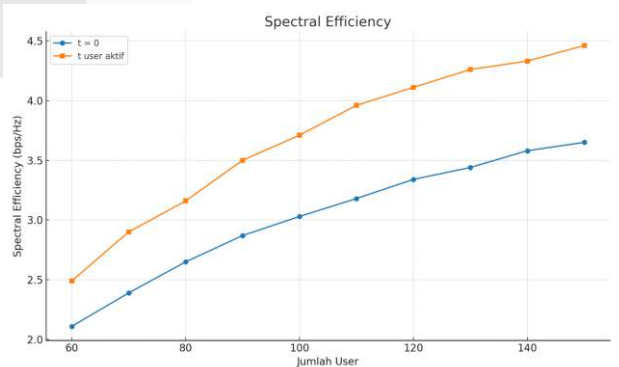
GAMBAR 6
Sumrate Skenario 1

Pada $t=0$, data rate per user tertinggi dicapai saat 60 user yaitu 176,265.84 bps, namun mengalami penurunan progresif hingga 121,916.83 bps saat 150 user. Sebaliknya, pada t user aktif, data rate tetap lebih tinggi, yaitu 207,514.25 bps (60 user) dan 148,993.98 bps (150 user). Rata-rata data rate meningkat sekitar 18.7% ketika seluruh user aktif dibandingkan $t=0$, yang menandakan efisiensi sistem lebih stabil pada kondisi penuh.



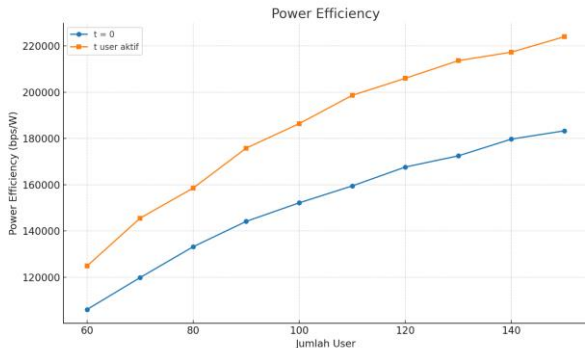
GAMBAR 7
Average Data Rate Skenario 1

Efisiensi spektrum pada $t=0$ berkisar antara 2.11–3.65 bps/Hz, sedangkan pada t user aktif meningkat menjadi 2.49–4.46 bps/Hz. Rata-rata peningkatan efisiensi spektral di seluruh user adalah sekitar 20.6%, menunjukkan sistem mampu memanfaatkan bandwidth dengan lebih optimal saat trafik penuh.



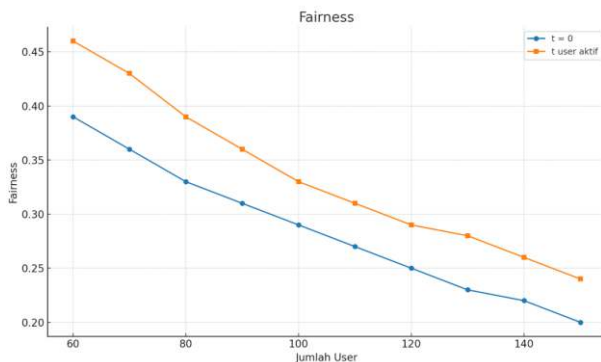
GAMBAR 8
Spectral Efficiency Skenario 1

Pada $t=0$, nilai power efficiency meningkat dari 106,010.63 bps/W hingga 183,309.49 bps/W, sedangkan pada t user aktif meningkat dari 124,804.35 bps/W hingga 224,021.92 bps/W. Rata-rata power efficiency pada t user aktif lebih tinggi sekitar 21.4%, yang menunjukkan kombinasi FCM dan Genetik mampu menjaga efisiensi energi yang baik dalam kondisi padat.



GAMBAR 9
Power Efficiency Skenario 1

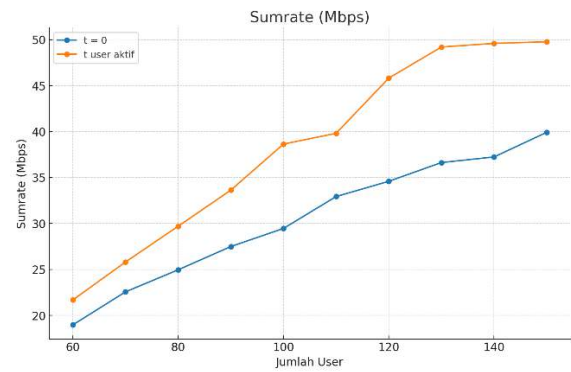
Indeks fairness pada $t=0$ mengalami penurunan signifikan dari 0.39 (60 user) ke 0.20 (150 user), sementara pada t user aktif turun dari 0.46 ke 0.24. Meskipun sama-sama menurun, fairness saat user aktif tetap lebih tinggi sekitar 16–25% dibandingkan kondisi $t=0$ pada setiap titik. Ini menandakan distribusi alokasi resource yang lebih merata terjadi ketika sistem telah memuat seluruh kendaraan.



GAMBAR 10
Fairness Skenario 1

B. Skenario 2

Kondisi $t = \text{user aktif}$ menghasilkan peningkatan signifikan dibandingkan $t = 0$, dengan nilai puncak mencapai 49.77 Mbps pada 150 user, meningkat dari 39.92 Mbps saat $t = 0$. Ini menunjukkan bahwa sistem bekerja lebih optimal saat semua user aktif, karena alokasi resource dapat dilakukan lebih menyeluruh dan merata.



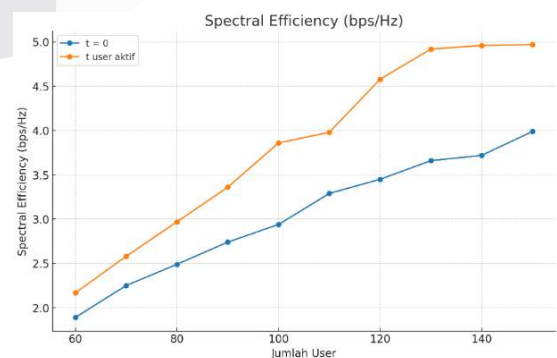
GAMBAR 11
Sumrate Skenario 2

Rata-rata data rate per user juga meningkat pada kondisi aktif, mencapai 193.23 kbps pada 100 user. Sebaliknya, kondisi $t = 0$ mengalami penurunan ketika jumlah user bertambah, turun dari 158.09 kbps (60 user) menjadi 133.09 kbps (150 user). Hal ini mengindikasikan bahwa sistem lebih efisien ketika hanya menghitung user aktif yang benar-benar terlibat dalam komunikasi saat itu.



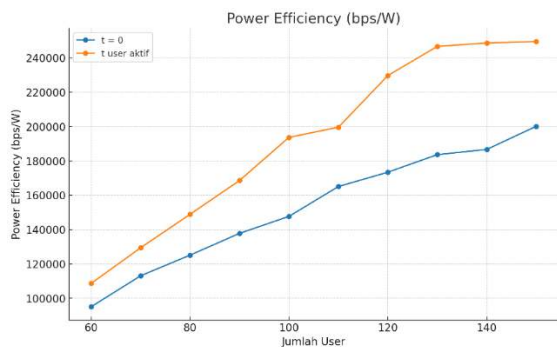
GAMBAR 12
Average Data Rate Skenario 2

Pada skenario ini, efisiensi spektral meningkat seiring bertambahnya user. Pada $t = \text{user aktif}$, nilai tertinggi mencapai 4.97 bps/Hz, jauh di atas nilai 3.99 bps/Hz pada kondisi $t = 0$. Hal ini mencerminkan penggunaan spektrum yang lebih optimal saat alokasi dilakukan kepada seluruh user yang aktif secara simultan.



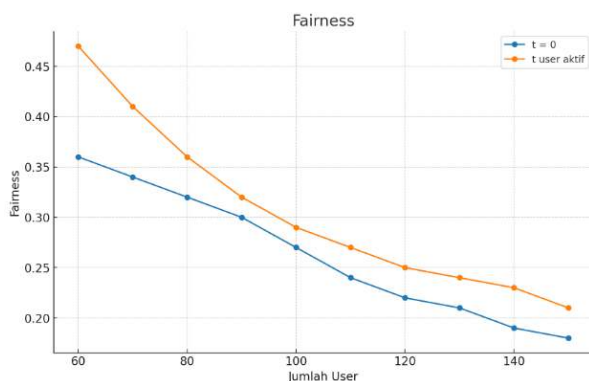
GAMBAR 13
Spectral Efficiency Skenario 2

Terjadi peningkatan efisiensi daya yang signifikan dari 200.12 kbps/W ($t = 0$) menjadi 249.44 kbps/W (t aktif). Kenaikan ini memperlihatkan bahwa metode FCM + Genetik mampu mengalokasikan resource dengan konsumsi daya yang lebih hemat saat kondisi trafik penuh.



GAMBAR 14
Power Efficiency Skenario 2

Meskipun fairness cenderung menurun seiring bertambahnya jumlah user, nilai indeks tetap lebih tinggi pada kondisi t aktif (misalnya, 0.47 pada 60 user dengan 0.36 pada $t = 0$). Hal ini menunjukkan bahwa metode FCM + Genetik mampu mempertahankan distribusi alokasi yang lebih adil saat sistem beroperasi dalam kapasitas penuh.



GAMBAR 15
Fairness Skenario 2

C. Tabel Nilai Performancing Keseluruhan

TABEL 1
Nilai Performancing Keseluruhan

FCM Genetika	Skenario 1 User Aktif	Skenario 1 $t=0$	Skenario 2 User Aktif	Skenario 2 $t=0$
Sumrate (Mbps)	36.93	30.29	38.37	30.48
Average Data Rate (Mbps)	0.181	0,149	0.174	0.148
Spectral Efficiency (bps/Hz)	3.693	3.029	3.837	2.648

Power Efficiency (bps/mW)	185.072	151.785	192.560	152.66
Fairness	0.3396	0.3	0.3	0.2

V. KESIMPULAN

Pada Skenario 1, nilai sumrate tertinggi terdapat pada kondisi $t = \text{user aktif}$ sebesar 36.93 Mbps, lebih tinggi dibandingkan $t = 0$ (30.29 Mbps). Peningkatan ini terjadi karena ketika seluruh user aktif, distribusi resource block (RB) menjadi optimal, kapasitas kanal termanfaatkan penuh, dan algoritma Genetika dapat melakukan pencarian solusi terbaik secara menyeluruh. Pada Skenario 2, nilai sumrate tertinggi juga dicapai pada kondisi $t = \text{user aktif}$ sebesar 38.37 Mbps, melampaui $t = 0$ (30.48 Mbps). Performa ini dipengaruhi oleh penempatan BTS di ujung jalan (5 m dan 2995 m) yang mengurangi interferensi antar BTS, sehingga menghasilkan SINR yang lebih baik dan distribusi RB yang lebih efisien. Dari sisi fairness, nilai tertinggi dicapai pada Skenario 1 $t = \text{user aktif}$ dengan 0.3396, menunjukkan distribusi sumber daya paling merata di antara user pada kondisi tersebut. Secara keseluruhan, kombinasi Fuzzy C-Means + Algoritma Genetika paling cocok digunakan untuk meningkatkan fairness pada sistem komunikasi V2X. Meskipun sumrate dan spectral efficiency tidak selalu tertinggi dibanding metode lain, pendekatan ini unggul dalam memberikan alokasi yang lebih adil antar user tanpa mengorbankan kinerja secara signifikan.

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.

