

Pengembangan Alokasi Sumber Daya pada Sistem Komunikasi Vehicle to Everything berbasis Clustering DBSCAN dan Algoritma Greedy

Muhammad Fauzan Ali Najmuddin
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
alinadjmuddin@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 Density Based Spatial Clustering of Application with Noise (DBSCAN) dan Algoritma Alokasi sumber daya Greedy dan Genetika. Simulasi dilakukan dalam dua skenario dengan perbedaan posisi Base Transceiver Station (BTS) dan metode perhitungan performansi pada saat sebagian user aktif ($t=0$) maupun seluruh user aktif. Parameter performansi yang dianalisis meliputi sumrate, rata-rata data rate, spectral efficiency, power efficiency, dan fairness. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi DBSCAN + Greedy unggul pada hampir semua parameter, khususnya pada Skenario 2 (user aktif) dengan sumrate 66.12 Mbps, average data rate 0.588 Mbps, spectral efficiency 6.611 bps/Hz, dan power efficiency 331.371 bps/mW. Sebaliknya, DBSCAN + Genetika memberikan nilai fairness yang lebih tinggi pada beberapa kondisi, seperti 0.3035 pada Skenario 1 (user aktif) dan 0.3090 pada Skenario 2 (user aktif). Evaluasi mengindikasikan bahwa skema perhitungan user aktif menghasilkan performa yang lebih optimal dibanding evaluasi dari hanya sebagian user aktif ($t=0$).

Kata kunci – BTS, V2X, DBSCAN, Greedy, Genetika, alokasi sumber daya.

I. PENDAHULUAN

Vehicle-to-Everything (V2X) merupakan konsep komunikasi yang menghubungkan kendaraan dengan berbagai entitas, seperti kendaraan lain Vehicle to Vehicle (V2V), infrastruktur jalan Vehicle to Infrastructure (V2I), pejalan kaki Vehicle to Pedestrian (V2P), dan jaringan Vehicle to Network (V2N). Sistem ini berperan penting dalam mendukung keselamatan, efisiensi lalu lintas, serta layanan transportasi cerdas. Seiring meningkatnya jumlah kendaraan yang terhubung dan mobilitas yang tinggi, tantangan utama yang dihadapi adalah bagaimana mengelola

sumber daya spektrum secara efisien dan adil di bawah kondisi jaringan yang dinamis.

Salah satu pendekatan penting dalam V2X adalah clustering, yaitu pengelompokan kendaraan berdasarkan kedekatan spasial dan pola pergerakan. Algoritma Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN) digunakan dalam penelitian ini karena kemampuannya mengidentifikasi kelompok kendaraan berdasarkan kepadatan titik tanpa memerlukan jumlah cluster yang telah ditentukan sebelumnya. DBSCAN efektif dalam menangani distribusi kendaraan yang tidak merata serta mampu mengeliminasi outlier, sehingga meningkatkan efisiensi proses alokasi sumber daya[1].

Setelah proses clustering, diperlukan metode alokasi sumber daya yang optimal. Algoritma Greedy adalah metode sederhana dan cepat yang mengalokasikan resource block (RB) kepada pengguna dengan nilai performa tertinggi pada setiap langkah, seperti data rate atau Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR). Meskipun Greedy tidak selalu menghasilkan solusi optimal secara keseluruhan, metode ini sangat efisien untuk sistem yang memerlukan respons real-time.

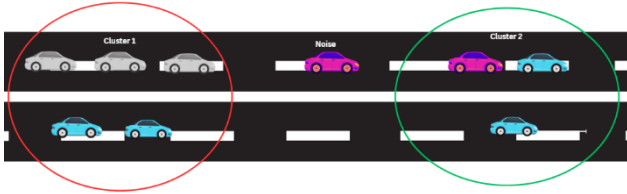
Sebaliknya, Algoritma Genetika menawarkan pendekatan optimasi berbasis evolusi yang mencari solusi alokasi RB melalui proses seleksi, crossover, dan mutasi. Metode ini membutuhkan waktu komputasi lebih lama, tetapi dapat menghasilkan distribusi sumber daya yang lebih merata di antara pengguna, sehingga meningkatkan fairness.

Penelitian ini memfokuskan pada evaluasi kinerja kombinasi DBSCAN+Greedy dan DBSCAN+Genetika pada dua skenario penempatan Base Transceiver Station (BTS) serta dua metode evaluasi pengguna, yaitu hanya sebagian pengguna aktif sejak awal simulasi ($t=0$) dan hanya saat semua pengguna aktif. Parameter yang dianalisis meliputi sumrate, average total data rate, spectral efficiency, power efficiency, dan fairness. Tujuan utama adalah

mengidentifikasi keunggulan dan kelemahan masing-masing kombinasi algoritma, serta memahami perbedaan antara pencapaian performansi dan pemerataan alokasi sumber daya pada sistem komunikasi V2X[2].

II. KAJIAN TEORI

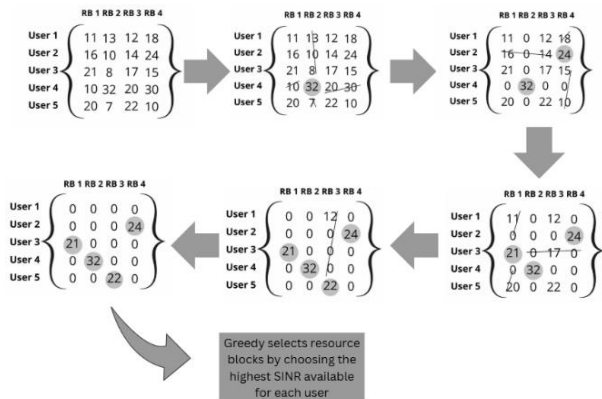
A. Density Based Spatial Clustering on Application with Noise (DBSCAN).



GAMBAR 1 Konsep DBSCAN

DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) bekerja dengan mengelompokkan kendaraan berdasarkan kepadatan spasial, yang ditentukan oleh dua parameter utama yaitu radius pencarian (*Eps*) dan jumlah minimum tetangga (*minPts*). Proses dimulai dengan memeriksa setiap kendaraan yang belum masuk ke dalam cluster, kemudian menghitung jaraknya terhadap seluruh kendaraan lain untuk menentukan tetangga yang berada dalam radius *Eps*. Jika jumlah tetangga yang dimiliki kendaraan tersebut sama atau lebih besar dari *minPts*, maka kendaraan dikategorikan sebagai *core point* dan digunakan sebagai pusat pembentuk cluster. Semua kendaraan dalam radius *Eps* dari *core point* dimasukkan ke dalam cluster yang sama. Kendaraan yang berada di sekitar *core point* namun memiliki jumlah tetangga kurang dari *minPts* dikategorikan sebagai *border point*, sedangkan kendaraan yang tidak memiliki tetangga cukup dan tidak terhubung dengan *core point* mana pun dianggap sebagai *noise*. Proses ini diulang hingga semua kendaraan telah diproses, sehingga dihasilkan kumpulan cluster yang merepresentasikan kelompok kendaraan dengan kepadatan tinggi, serta titik-titik *noise* yang terisolasi dari kelompok utama.

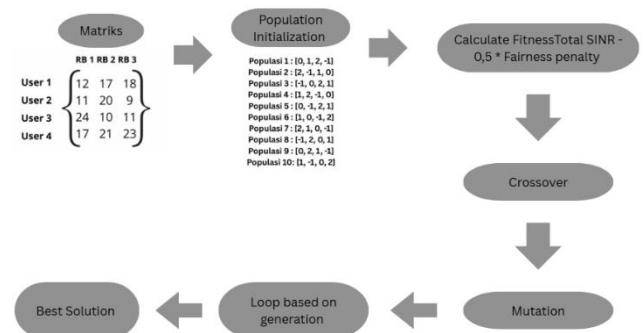
B. Algoritma Greedy



GAMBAR 2 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. Algoritma Genetika



GAMBAR 3 Algoritma Genetika

Algoritma Genetika 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.

D. 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 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

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

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

E. 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.

$$\text{Spectral Efficiency} = \frac{\text{Total Data Rate}}{\text{Bandwidth System}} \quad (2)$$

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

F. 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.

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

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

G. Fairness

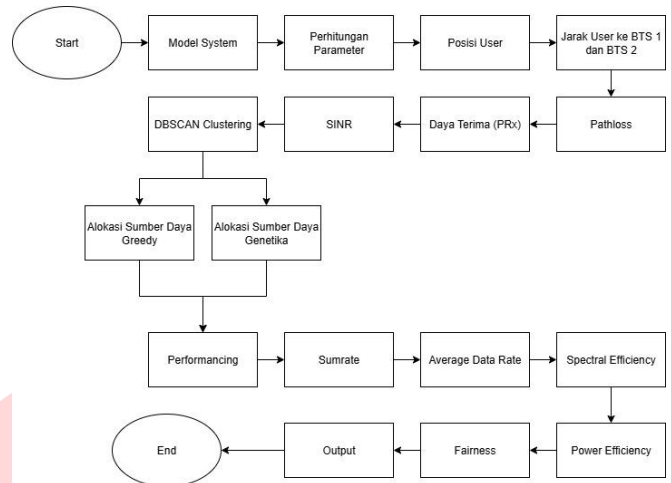
Fairness dalam alokasi sumber daya merupakan faktor kunci untuk menjaga kestabilan sistem komunikasi antar kendaraan. Dalam situasi di mana banyak kendaraan berbagi kanal komunikasi yang sama, penting untuk memastikan bahwa setiap kendaraan mendapatkan kesempatan yang setara dalam mengakses sumber daya 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.

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

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

A. Desain Sistem



GAMBAR 4 Flowchart Desain Sistem

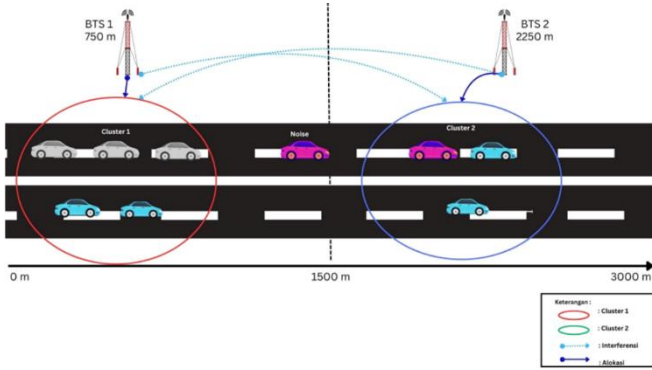
Diagram diatas menggambarkan alur utama dari pemodelan sistem, mulai dari perancangan parameter awal, proses clustering, alokasi sumber daya, hingga evaluasi performa sistem komunikasi antar kendaraan.

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[3]. 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 DBSCAN. Hasil cluster kemudian digunakan untuk alokasi resource block (RB) menggunakan Algoritma Greedy dan Genetika, yang mengoptimalkan alokasi berdasarkan parameter yang diuji. Kombinasi DBSCAN dengan Greedy dan Genetika ini menjadi fokus dalam jurnal, dan dievaluasi menggunakan parameter performansi utama yaitu sumrate, average data rate, spectral efficiency, power efficiency, dan fairness.

TABEL 1 Parameter Skenario 1 dan 2

Parameter	Nilai
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 meter dan 2250 meter
Posisi BTS Skenario 2	5 meter dan 2995 meter
Frekuensi Carrier	2000 MHz
Bandwidth sistem	10 MHz
Sub Carrier Spacing	15 KHz
Bandwidth Resource Block	180
Jumlah Resource Block	50
Pathloss Model	Cost231 Suburban[4]
Gain Antena TX	3 dB
Gain Antena RX	3 dB
TRX Power (Downlink)	23 dBm

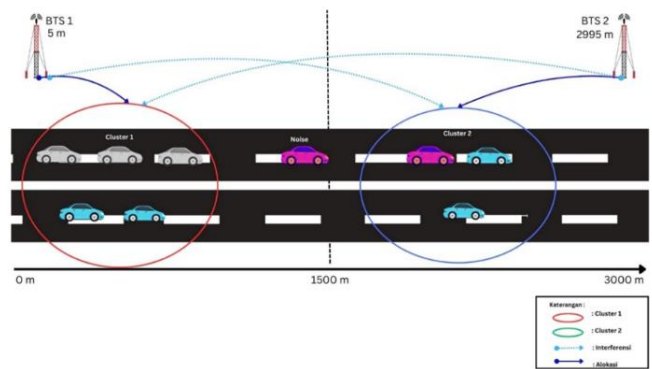
B. Skenario 1



GAMBAR 5 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 6 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 $t = 0$

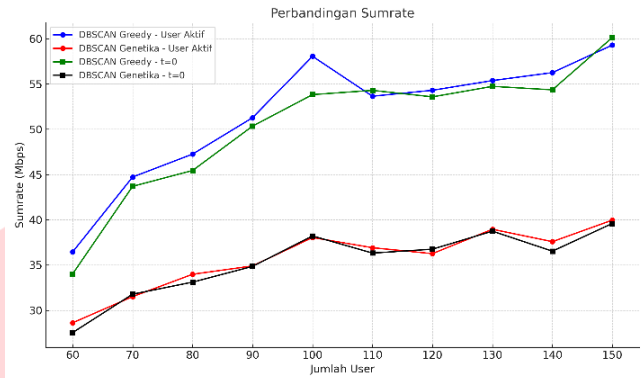
Pada kondisi awal simulasi ($t = 0$), hanya sebagian kendaraan yang telah aktif. Meskipun trafik masih terbatas, sistem tetap melakukan proses clustering menggunakan Fuzzy C-Means (FCM) serta alokasi resource block menggunakan algoritma Genetika terhadap kendaraan yang sudah aktif. Evaluasi performa 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

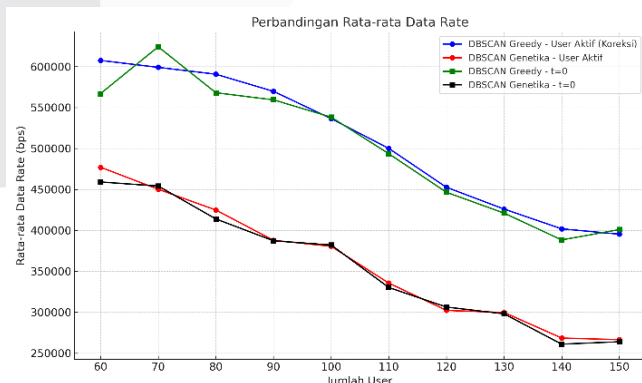
A. Skenario 1



GAMBAR 7 Sumrate Skenario 1

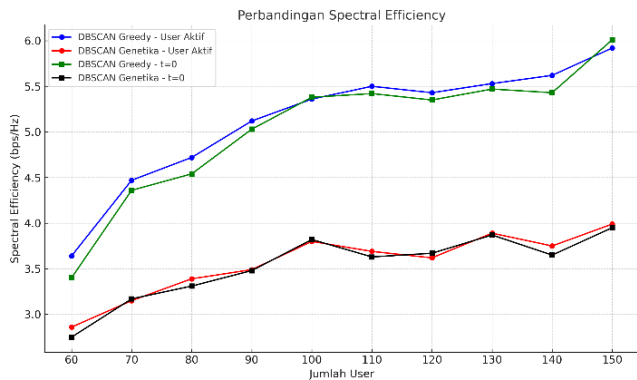
Pada skema user aktif, DBSCAN+Greedy menunjukkan peningkatan sumrate yang signifikan seiring bertambahnya jumlah pengguna, mencapai nilai tertinggi sebesar 59.29 Mbps pada 150 pengguna. Sementara itu, DBSCAN+Genetika pada skema yang sama hanya mencapai 39.96 Mbps pada jumlah pengguna yang sama. Hal ini menunjukkan adanya gap performa sebesar ± 19.33 Mbps pada kondisi kepadatan lalu lintas tinggi.

Pada skema $t=0$, kombinasi DBSCAN+Greedy tetap unggul, dengan nilai puncak 60.13 Mbps pada 150 pengguna. Sedangkan DBSCAN+Genetika hanya mencapai 39.59 Mbps. Meskipun nilai puncak sumrate pada skema $t=0$ untuk DBSCAN+Greedy sedikit lebih tinggi dibandingkan user aktif, perbedaannya relatif kecil, mengindikasikan bahwa metode ini adaptif terhadap variasi skema perhitungan pengguna.



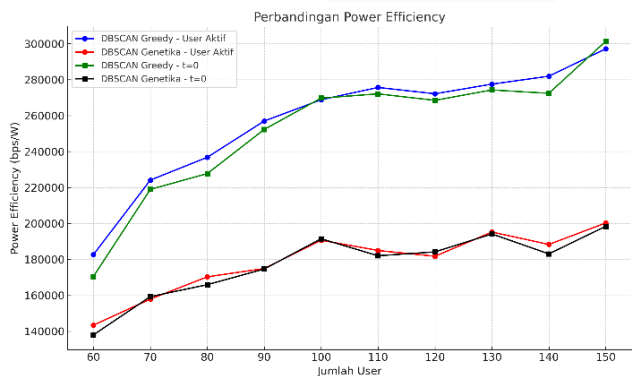
GAMBAR 8 Rata-rata Data Rate Skenario 1

Pada skema user aktif, DBSCAN+Greedy mencapai nilai tertinggi sebesar 607,516.74 bps pada 60 pengguna, dengan tren menurun seiring bertambahnya jumlah pengguna akibat pembagian resource block yang semakin banyak. Sementara itu, DBSCAN+Genetika menunjukkan performa yang lebih rendah, dengan puncak hanya 477,039.22 bps pada 60 pengguna. Perbedaan ini disebabkan oleh alokasi Greedy yang memprioritaskan pengguna dengan kualitas kanal terbaik sehingga throughput total lebih tinggi. Sebaliknya, algoritma Genetika mendistribusikan sumber daya secara lebih merata untuk meningkatkan fairness, yang berdampak pada penurunan data rate rata-rata.



GAMBAR 9 Spectral Efficiency Skenario 1

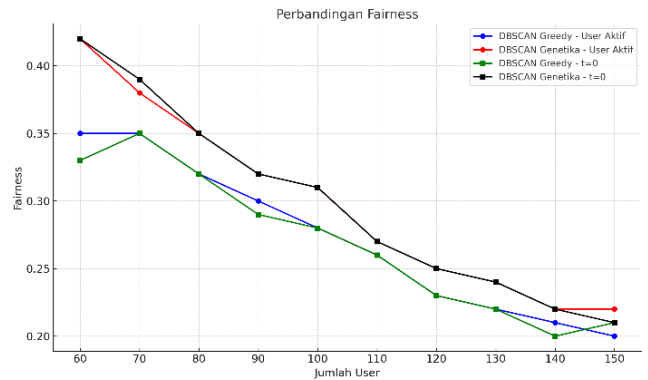
Pada skema *user aktif*, DBSCAN+Greedy mencapai nilai tertinggi sebesar 5.92 bps/Hz pada 150 pengguna, sedangkan DBSCAN+Genetika hanya mencapai 3.99 bps/Hz. Kenaikan ini sejalan dengan bertambahnya jumlah pengguna, di mana alokasi sumber daya oleh metode Greedy lebih terfokus pada pengguna dengan kanal terbaik, sehingga mampu memaksimalkan pemanfaatan spektrum.



GAMBAR 10 Power Efficiency Skenario 1

Pada skema user aktif, DBSCAN+Greedy mencapai nilai tertinggi sebesar 297,197.5 bps/W pada 150 pengguna, sedangkan DBSCAN+Genetika hanya mencapai 200,306.1 bps/W. Kenaikan nilai power efficiency pada DBSCAN+Greedy seiring bertambahnya jumlah pengguna menandakan bahwa algoritma ini mampu mengalokasikan sumber daya dengan memaksimalkan rasio throughput terhadap daya transmisi. Sementara itu, DBSCAN+Genetika cenderung memiliki nilai lebih rendah karena fokus distribusi sumber

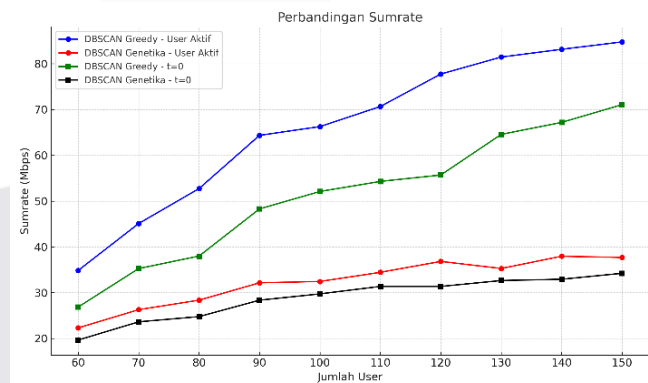
daya yang merata, yang walaupun dapat meningkatkan fairness, menghasilkan efisiensi daya yang lebih rendah.



GAMBAR 11 Fairness Skenario 1

Kombinasi DBSCAN+Genetika secara konsisten memiliki nilai fairness yang lebih tinggi dibandingkan DBSCAN+Greedy, baik pada skema user aktif maupun $t = 0$. Pada skema user aktif, nilai tertinggi dicapai pada 60 pengguna sebesar 0.42, sedangkan DBSCAN + Greedy hanya mencapai 0.35. Kinerja yang lebih baik pada algoritma Genetika disebabkan oleh sifat optimisasi berbasis populasi yang mempertimbangkan distribusi alokasi sumber daya secara lebih merata antar pengguna. Sebaliknya, algoritma Greedy cenderung memprioritaskan pengguna dengan kualitas kanal terbaik, yang meskipun meningkatkan throughput total, berdampak pada menurunnya pemerataan alokasi (fairness).

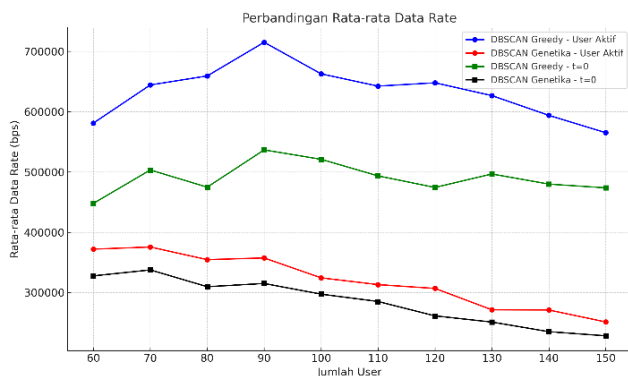
B. Skenario 2



GAMBAR 12 Sumrate Skenario 2

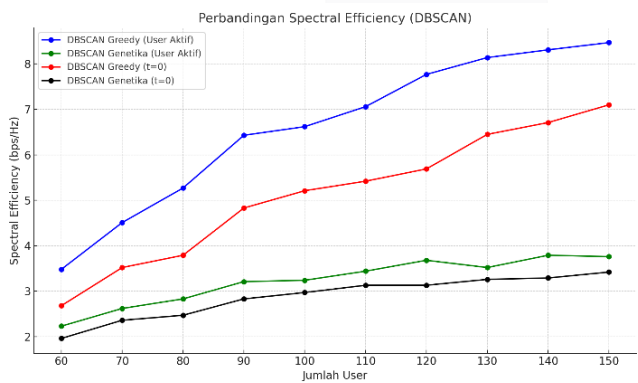
Kombinasi DBSCAN+Greedy menunjukkan performa sumrate yang jauh lebih tinggi dibandingkan DBSCAN+Genetika pada seluruh jumlah pengguna, baik pada skema user aktif maupun $t = 0$. Pada skema user aktif, nilai tertinggi DBSCAN+Greedy mencapai 84.77 Mbps pada 150 pengguna, sedangkan DBSCAN+Genetika hanya mencapai 37.96 Mbps. Peningkatan sumrate yang signifikan pada DBSCAN+Greedy disebabkan oleh sifat algoritma yang memprioritaskan alokasi RB kepada pengguna dengan kanal terbaik, sehingga throughput total dapat dimaksimalkan.

Sebaliknya, DBSCAN+Genetika lebih fokus pada pemerataan alokasi, sehingga total throughput lebih rendah.



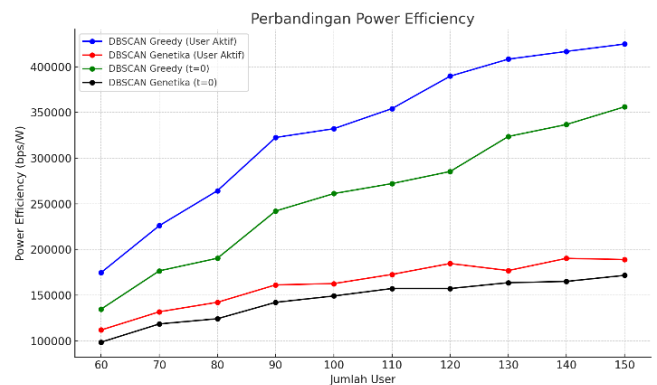
GAMBAR 13 Rata-rata Data Rate Skenario 2

Pada skema user aktif, DBSCAN+Greedy mencapai puncak 715,136.45 bps pada 90 pengguna, sedangkan DBSCAN+Genetika hanya mencapai 375,620.45 bps pada 70 pengguna. Pola perbedaan ini dikarenakan algoritma Greedy memprioritaskan alokasi sumber daya ke pengguna dengan kualitas kanal terbaik pada setiap iterasi, sehingga throughput rata-rata meningkat signifikan. Sebaliknya, algoritma Genetika cenderung mempertahankan keseimbangan alokasi di seluruh pengguna, yang berdampak pada penurunan rata-rata data rate.



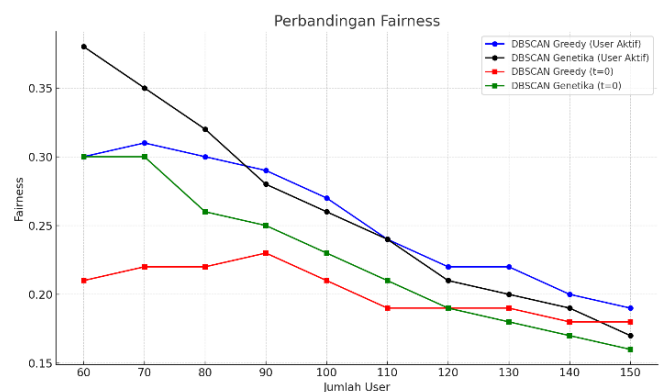
GAMBAR 14 Spectral Efficiency Skenario 2

Pada skema user aktif, DBSCAN+Greedy mencapai nilai puncak sebesar 8.47 bps/Hz pada 150 pengguna, sedangkan DBSCAN+Genetika hanya mencapai 3.79 bps/Hz. Pola serupa terlihat pada skema perhitungan dari $t = 0$, di mana DBSCAN+Greedy memperoleh nilai maksimum 7.10 bps/Hz, sementara DBSCAN+Genetika hanya 3.42 bps/Hz. Perbedaan ini dipengaruhi oleh strategi alokasi sumber daya, di mana algoritma Greedy memprioritaskan pengguna dengan kualitas kanal terbaik sehingga pemanfaatan spektrum menjadi lebih optimal, sedangkan algoritma Genetika berfokus pada distribusi yang lebih merata antar pengguna sehingga efisiensi spektrum relatif lebih rendah.



GAMBAR 15 Power Efficiency Skenario 2

Pada skema user aktif, DBSCAN+Greedy mengalami kenaikan nilai cukup stabil dari 174.73 kbps/W (60 user) hingga 424.87 kbps/W (150 user), menunjukkan bahwa metode Greedy mampu memanfaatkan daya secara lebih optimal meskipun jumlah user bertambah. Sebaliknya, DBSCAN+Genetika memiliki nilai power efficiency yang lebih rendah dan kenaikannya relatif lambat, dari 111.87 kbps/W menjadi 188.92 kbps/W (user aktif). Tren serupa terlihat pada perhitungan $t=0$, di mana selisih antara kedua algoritma tetap signifikan.



GAMBAR 16 Fairness Skenario 2

Pada kondisi user aktif, perbedaan keduanya cukup signifikan di jumlah user rendah (60–80 user), di mana DBSCAN Genetika mencapai 0,38–0,32 sedangkan DBSCAN Greedy berada di kisaran 0,30–0,29. Namun, seiring bertambahnya jumlah user, kedua algoritma mengalami penurunan fairness yang cukup jelas, mengindikasikan distribusi resource yang semakin tidak merata pada kepadatan jaringan tinggi. Sementara itu, pada perhitungan mulai $t = 0$, pola yang sama terjadi tetapi dengan nilai fairness yang sedikit lebih rendah dibanding user aktif. Penurunan ini dapat disebabkan oleh periode awal simulasi di mana sebagian user belum aktif penuh sehingga alokasi RB menjadi lebih terkonsentrasi pada subset user tertentu.

C. Nilai Performancing Keseluruhan

TABLE 2 Nilai Performansi Keseluruhan

Skenario	Algoritma	Sumrate (Mbps)
Skenario 1 User Aktif	DBSCAN+Greedy	51,73
Skenario 1 User Aktif	DBSCAN+Genetika	35,68
Skenario 1 t=0	DBSCAN+Greedy	50,44
Skenario 1 t=0	DBSCAN+Genetika	35,35
Skenario 2 User Aktif	DBSCAN+Greedy	66,12
Skenario 2 User Aktif	DBSCAN+Genetika	32,39
Skenario 2 t=0	DBSCAN+Greedy	51,04
Skenario 2 t=0	DBSCAN+Genetika	28,87
Skenario	Algoritma	Average total data rate (Mbps)
Skenario 1 User Aktif	DBSCAN+Greedy	0,454
Skenario 1 User Aktif	DBSCAN+Genetika	0,359
Skenario 1 t=0	DBSCAN+Greedy	0,501
Skenario 1 t=0	DBSCAN+Genetika	0,356
Skenario 2 User Aktif	DBSCAN+Greedy	0,588
Skenario 2 User Aktif	DBSCAN+Genetika	0,32
Skenario 2 t=0	DBSCAN+Greedy	0,49
Skenario 2 t=0	DBSCAN+Genetika	0,285
Skenario	Algoritma	Spectral Efficiency (bps/Hz)
Skenario 1 User Aktif	DBSCAN+Greedy	5,173
Skenario 1 User Aktif	DBSCAN+Genetika	3,568
Skenario 1 t=0	DBSCAN+Greedy	5,044
Skenario 1 t=0	DBSCAN+Genetika	3,535
Skenario 2 User Aktif	DBSCAN+Greedy	6,611
Skenario 2 User Aktif	DBSCAN+Genetika	3,238
Skenario 2 t=0	DBSCAN+Greedy	4,435
Skenario 2 t=0	DBSCAN+Genetika	2,545
Skenario	Algoritma	Power Efficiency (bps/mW)
Skenario 1 User Aktif	DBSCAN+Greedy	237,413
Skenario 1 User Aktif	DBSCAN+Genetika	178,802
Skenario 1 t=0	DBSCAN+Greedy	252,816
Skenario 1 t=0	DBSCAN+Genetika	177,146
Skenario 2 User Aktif	DBSCAN+Greedy	331,371
Skenario 2 User Aktif	DBSCAN+Genetika	162,314
Skenario 2 t=0	DBSCAN+Greedy	257,05
Skenario 2 t=0	DBSCAN+Genetika	144,74
Skenario	Algoritma	Fairness
Skenario 1 User Aktif	DBSCAN+Greedy	0,2779
Skenario 1 User Aktif	DBSCAN+Genetika	0,3035
Skenario 1 t=0	DBSCAN+Greedy	0,2734
Skenario 1 t=0	DBSCAN+Genetika	0,3028
Skenario 2 User Aktif	DBSCAN+Greedy	0,2586
Skenario 2 User Aktif	DBSCAN+Genetika	0,2657
Skenario 2 t=0	DBSCAN+Greedy	0,2068
Skenario 2 t=0	DBSCAN+Genetika	0,2249

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis performansi sistem komunikasi V2X menggunakan kombinasi algoritma DBSCAN dengan metode alokasi sumber daya Greedy dan Genetika pada dua skenario penempatan BTS serta dua metode evaluasi pengguna, diperoleh bahwa DBSCAN+Greedy unggul pada parameter throughput, baik dalam bentuk sumrate, rata-rata data rate, spectral efficiency, maupun power efficiency. Pada skema user aktif, DBSCAN+Greedy mampu mencapai nilai tertinggi hingga 66.12 Mbps untuk sumrate pada Skenario 1 dan 84.77 Mbps pada Skenario 2, serta spectral efficiency hingga 6.611 bps/Hz (Skenario 1) dan 8.47 bps/Hz (Skenario

2). Keunggulan ini disebabkan oleh strategi Greedy yang memprioritaskan pengguna dengan kualitas kanal terbaik, sehingga pemanfaatan spektrum dan daya menjadi maksimal. Sebaliknya, DBSCAN+Genetika menunjukkan performa yang lebih rendah pada parameter throughput, namun unggul dalam fairness, dengan capaian tertinggi 0.3035 pada Skenario 1 dan 0.3090 pada Skenario 2 (kondisi user aktif). Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan Genetika lebih efektif dalam pemerataan alokasi sumber daya, meskipun berdampak pada penurunan throughput. Selain itu, evaluasi menunjukkan bahwa perhitungan pada kondisi seluruh user aktif menghasilkan performa yang lebih optimal dibanding evaluasi pada saat sebagian user aktif ($t=0$), khususnya pada parameter sumrate dan power efficiency. Secara keseluruhan, DBSCAN+Greedy direkomendasikan untuk skenario yang menuntut throughput tinggi, sedangkan DBSCAN+Genetika lebih sesuai untuk aplikasi yang memerlukan pemerataan alokasi sumber daya antar pengguna.

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. Berghem, 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.
- [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 Vehicular Ad Hoc Networks," *Sensors*, vol. 24, no. 7, Apr. 2024.
- [7] 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, 10.56977/jicce.2023
- [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.