

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Deskripsi Umum Masalah

Dengan munculnya jaringan 5G, permintaan akan kapasitas jaringan dan konektivitas perangkat mengalami peningkatan yang signifikan. Dalam penerapannya, sangat penting untuk menemukan frekuensi yang optimal agar dapat digunakan secara efektif dan dapat mengatasi permasalahan tersebut. Namun, salah satu tantangan utama dalam sistem komunikasi 5G adalah interferensi yang tinggi, terutama ketika sumber daya spektrum dibagi antara perangkat D2D dan pengguna seluler tradisional [1].

Komunikasi *Device-to-Device (D2D)* dapat dikategorikan menjadi *inband* dan *outband* [2]. Dalam komunikasi D2D *inband*, skema *underlay* atau *overlay* dapat digunakan untuk berbagi spektrum. Dalam skema *underlay*, pengguna seluler tradisional dan D2D dapat menggunakan spektrum yang sama sehingga tidak ada interferensi di antara mereka. Di sisi lain, pada skema *overlay*, komunikasi D2D menggunakan sumber daya spektrum yang khusus dialokasikan untuk komunikasi langsung antar perangkat. Dalam skema ini, komunikasi D2D tidak berbagi spektrum dengan komunikasi seluler, sehingga menghilangkan risiko interferensi langsung antara kedua jenis komunikasi tersebut [3].

Dalam skema *inband*, terdapat satu masalah utama yaitu *overloading*. Fenomena *overloading* ini terjadi ketika jumlah perangkat yang terhubung melebihi kapasitas spektrum frekuensi yang ada, sehingga mengakibatkan terbatasnya sumber daya spektrum yang dapat dialokasikan untuk setiap pengguna. Hal ini dapat menurunkan kualitas layanan, menyebabkan interferensi yang lebih tinggi antar perangkat, serta menurunkan *throughput* dan efisiensi jaringan secara keseluruhan. Dalam konteks komunikasi D2D, *overloading* menjadi tantangan signifikan, terutama dalam jaringan yang mendukung konektivitas pengguna yang masif [4].

Teknik akses ganda adalah teknik yang digunakan untuk mengelola akses dari banyak pengguna ke sumber daya secara bersamaan dalam komunikasi nirkabel. *Orthogonal Multiple Access (OMA)* merupakan skema yang bertujuan menghilangkan interferensi antar pengguna melalui *transceiver* sederhana. Contoh skema OMA termasuk *Frequency Division Multiple Access (FDMA)*, *Time Division Multiple Access (TDMA)*, *Code Division Multiple Access (CDMA)*, dan *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)*. Namun, metode ini

tidak memadai untuk mendukung jaringan D2D pada 5G yang harus melayani jumlah pengguna dan perangkat yang sangat besar secara efisien.

Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) adalah teknik *multiple access* yang populer pada sistem komunikasi 5G [5]. Skema NOMA dibagi menjadi dua kategori utama: *Power Domain NOMA* dan *Code Domain NOMA*. Dalam *Power Domain NOMA*, daya dialokasikan secara berbeda untuk setiap pengguna pada saluran yang sama, di mana pengguna dengan kondisi saluran lebih baik diberikan daya yang lebih rendah, dan pengguna dengan kondisi saluran buruk mendapat daya lebih tinggi. Di *Code Domain NOMA*, perbedaan pengguna dilakukan berdasarkan kode unik yang digunakan, dengan teknik seperti LDS-CDMA, LDS-OFDMA, dan SCMA [6].

1.2 Analisis Masalah

Pengalokasian sumber daya dalam jaringan 5G merupakan faktor krusial yang mempengaruhi performa dan kapasitas jaringan secara keseluruhan. Tantangan yang sering muncul terkait alokasi ini adalah penggunaan sumber daya yang tidak optimal. Pada beberapa kasus dalam jaringan 5G maupun D2D, terjadi *overloading* atau ketidakseimbangan antara jumlah pengguna dan *bandwidth* yang tersedia. Beberapa pengguna mengalami interferensi jaringan yang tinggi, sementara pengguna lainnya menerima alokasi sumber daya yang berlebihan. Hal ini menciptakan ketidakmerataan dalam distribusi kapasitas jaringan.

Selain itu, pengalokasian spektrum frekuensi juga menjadi perhatian utama. Dalam beberapa situasi, spektrum yang ada tidak didistribusikan secara optimal di antara berbagai jenis pengguna seluler. Sebagian pengguna harus berbagi frekuensi yang sama, yang menyebabkan peningkatan interferensi dan penurunan kualitas sinyal. Di sisi lain, ada spektrum frekuensi yang kurang dimanfaatkan secara efisien di situasi tertentu.

Masalah pengalokasian domain kode yang tidak dilakukan dengan benar dapat berpengaruh terhadap pengguna seluler. Ketika pengguna tidak menerima *codebook* yang sesuai dari sisi *transceiver*, pengguna tersebut tidak akan dapat mendeteksi *codewords* yang ditetapkan, sehingga mengakibatkan kegagalan dalam komunikasi dan penurunan kualitas layanan.

Beberapa aspek terkait masalah yang dibahas adalah sebagai berikut:

- *Overloading*: Ketidakseimbangan antara kapasitas jumlah pengguna dengan *bandwidth* yang tersedia pada sistem komunikasi *Device-to-Device (D2D)*.
- Alokasi Spektrum Frekuensi: Pada skema *inband*, alokasi spektrum frekuensi yang tidak optimal dan tidak efisien dapat berdampak pada interferensi antar-jaringan, kapasitas jaringan, dan dapat mengurangi kualitas sinyal.
- Alokasi *Codebook*: Pada sistem teknik *multiple access*, alokasi domain kode adalah aspek yang krusial untuk melakukan penugasan *codebook* terhadap setiap pengguna seluler maupun perangkat *Device-to-Device (D2D)*.
- *Power Efficiency*: Penggunaan *power* yang tidak efisien dapat mengakibatkan konsumsi daya yang berlebihan, biaya operasional yang tinggi, dan dampak negatif pada lingkungan.

1.3 Analisis Solusi yang Ada

Pada jaringan 4G, teknik *multiple access* yang digunakan adalah *Orthogonal Multiple Access (OMA)*. Namun, dengan bertambahnya jumlah pengguna, kapasitas *bandwidth* yang tersedia tidak lagi mencukupi. Oleh karena itu, pada jaringan 5G diperkenalkan teknik *multiple access* baru, yaitu *Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)*. Salah satu metode *multiple access* dalam NOMA adalah *Sparse Code Multiple Access (SCMA)*. SCMA memungkinkan lebih banyak pengguna untuk berbagi sumber daya secara lebih efisien dengan menggunakan kode *sparse* dan prinsip akses *non-orthogonal*. Tujuan SCMA adalah untuk meningkatkan efisiensi spektral, mendukung konektivitas masif perangkat, serta mengurangi interferensi [7].

SCMA menawarkan dua solusi utama untuk mengatasi tantangan alokasi sumber daya dalam jaringan 5G. Pertama, *Rate Aware Codebook Selection for 5G System (RACBS-D2D)* menggunakan pendekatan grafik konflik untuk memilih *codebook* secara optimal, dengan tujuan meminimalkan interferensi antar pengguna. Solusi ini memungkinkan distribusi *codebook* yang lebih efisien, sehingga meningkatkan *data rate* dan memastikan penggunaan spektrum yang lebih efektif. Kedua, *Iterative Geometric Water-Filling Based Power Allocation (IGWFPA)* berfokus pada alokasi daya yang optimal di antara pengguna, dengan mendistribusikan daya berdasarkan kondisi saluran masing-masing perangkat. Metode *Geometric Water-Filling* memastikan bahwa pengguna dengan kondisi sinyal yang lebih baik dialokasikan daya yang lebih rendah, sementara pengguna dengan kondisi saluran yang lebih

buruk mendapatkan daya lebih tinggi, sehingga meningkatkan efisiensi daya dan performa jaringan [8].

Skema *Rate Aware Codebook Selection for 5G System (RACBS-D2D)* yang ditawarkan akan dibandingkan dengan tiga skema lainnya, yaitu *random scheme*, *opportunistic scheme*, dan *adaptive scheme* untuk mengevaluasi hasil kinerja dari tiga skema tersebut. Pada skema *random* [9], yaitu RCA-D2D adalah sebuah metode alokasi sumber daya di mana *codebook* untuk pengguna seluler dan *Resource Block (RB)* untuk pengguna D2D dialokasikan secara acak tanpa mempertimbangkan faktor-faktor seperti interferensi lintas lapisan atau efisiensi sumber daya. Metode ini digunakan untuk membandingkan kinerja skema alokasi sumber daya lainnya serta tidak memperhitungkan diversitas pengguna atau kondisi interferensi, yang mengakibatkan kinerja jaringan yang kurang optimal, khususnya dalam hal konsumsi daya dan efisiensi spektrum.

Skema *opportunistic* [10], yaitu OSCA-D2D adalah sebuah pendekatan alokasi sumber daya dan *codebook* yang memanfaatkan kondisi saluran terbaik yang tersedia untuk memaksimalkan performa jaringan. Skema ini bertujuan untuk mengalokasikan *codebook* berdasarkan kondisi saluran dari pengguna seluler dan D2D. Pengguna dengan kondisi saluran terbaik diprioritaskan untuk mendapatkan alokasi *codebook*, sehingga sistem dapat mencapai *sum rate* yang maksimal. Strategi ini memungkinkan jaringan untuk memanfaatkan sumber daya spektrum dengan lebih efisien, mengurangi interferensi, dan meningkatkan efisiensi spektral keseluruhan.

Skema *adaptive* [11], yaitu DCSA-D2D adalah sebuah pendekatan yang dinamis dalam perancangan dan penugasan *codebook*, di mana desain dan alokasi *codebook* disesuaikan secara adaptif sesuai dengan karakteristik pengguna dan layanan. Skema ini mempertimbangkan kondisi jaringan, seperti *Channel State Information (CSI)* dan persyaratan *Quality of Service (QoS)* dari setiap pengguna. Hal ini memungkinkan sistem untuk mengoptimalkan performa jaringan secara *real-time*, mengurangi kompleksitas deteksi pada jaringan *uplink* dan *downlink* SCMA, serta meminimalkan konsumsi daya.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Adapun tujuan pengujian proyek *capstone design* ini adalah untuk mengevaluasi kinerja alokasi sumber daya dalam skenario komunikasi *Device-to-Device (D2D)* pada jaringan 5G dengan menggunakan pendekatan gabungan antara *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)* untuk pengguna *Cellular User (CU)* dan *Sparse Code Multiple Access (SCMA)* untuk pengguna *D2D User (DU)*. Pengujian dilakukan untuk menganalisis efektivitas tiga algoritma alokasi sumber daya yang dikembangkan, yaitu algoritma *Greedy*, *Hungarian*, dan *RB Greedy*, dalam berbagai kondisi jaringan. Evaluasi dilakukan berdasarkan parameter performansi utama seperti *data rate*, *sum rate*, *spectral efficiency*, *power efficiency*, dan *fairness* yang optimal untuk setiap pengguna.

1.5 Batasan Tugas Akhir

Batasan dalam penelitian *capstone* ini difokuskan pada optimalisasi alokasi sumber daya dalam jaringan 5G, khususnya antara perangkat *Cellular User (CU)* dan koneksi antar-perangkat *Device-to-Device (D2D)*. Tujuan utama tugas akhir ini adalah mengembangkan metode alokasi yang mampu meningkatkan kapasitas jaringan secara efisien dalam merespons tingginya permintaan kapasitas, yang dapat menyebabkan potensi *overloading* dalam jaringan 5G.

1.5.1 *Cellular User* dan *D2D User* Menjadi Peran Penting

Tugas akhir ini memiliki dua jenis pengguna, yaitu *Cellular User (CU)* dan *D2D User (DU)*. Setiap jenis pengguna memiliki karakteristik teknis tertentu yang menjadi acuan dalam penelitian. Untuk *Cellular User (CU)* fokus pada pengujian ini, kami mempertimbangkan beberapa parameter, seperti sensitivitas, *gain* antena (G_{ant}), daya terima (P_{rx}), dan jenis propagasi kanal. Sedangkan untuk *D2D User (DU)*, fokus pada pengujian ini, kami menentukan jarak maksimum antar perangkat *D2D User* pemancar ($D2D_{tx}$) dengan *D2D User* penerima ($D2D_{rx}$) yaitu sejauh 90 meter. Aspek pengujian parameter pada *D2D User (DU)* mencakup sensitivitas, *gain* antena (G_{ant}), daya terima (P_{rx}), jenis propagasi kanal, serta efisiensi komunikasi langsung antar *user*. Selain itu, pengaruh interferensi dari pengguna lain, baik antar *D2D User (DU)* maupun dengan *Cellular User (CU)*, juga dipertimbangkan untuk mengevaluasi performa koneksi D2D dalam skenario jaringan yang kompleks. Parameter-parameter ini dianalisis untuk memastikan stabilitas koneksi D2D dalam jarak maksimum yang telah ditentukan dan dalam berbagai kondisi propagasi kanal yang akan diuji.

1.5.2 Batasan dalam Model Sistem Cell

Tugas akhir ini menggunakan model sistem komunikasi satu *cell* (*single-cell*) tanpa mempertimbangkan interferensi dari *cell* tetangga. Radius maksimum area cakupan *cell* ditetapkan sebesar 1000 meter. Semua perangkat baik itu *Cellular User* (*CU*) maupun *D2D User* (*DU*) berada dalam jangkauan *cell* ini. Parameter *Base Transceiver Station* (*BTS*) pada model sistem ini dilengkapi dengan beberapa pengujian teknis, seperti daya pancar maksimum (P_{tx}), *gain* antenna (G_{ant}), dan karakteristik propagasi kanal yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan. Sistem ini hanya memfokuskan komunikasi pada arah *downlink*, di mana *Base Transceiver Station* (*BTS*) mentransmisikan data kepada perangkat *Cellular User* (*CU*) dan *D2D User* (*DU*). Sistem model ini memiliki total *bandwidth* sebesar 1,44 sampai 7,2 MHz dengan frekuensi 1800 MHz sesuai dengan standar 5G pada pengujian ini. *Bandwidth* ini dibagi menjadi *Resource Block* (*RB*) yang digunakan oleh *Cellular User* (*CU*) dan *D2D User* (*DU*). *Resource Block* (*RB*) dan *Subcarrier* dibagi secara merata berdasarkan kebutuhan *user*, di mana alokasi *RB* mempertimbangkan interferensi *intra-cell*, *spectral efficiency*, dan *fairness* antara *Cellular User* (*CU*) dan *D2D User* (*DU*). Jumlah *RB* yang dibagikan terhadap *Cellular User* (*CU*) dan *D2D User* (*DU*) akan disesuaikan dengan kebutuhan pengujian ini, misalnya dalam *bandwidth* 1.4 MHz jumlah *RB* yang tersedia sebanyak 6.

1.5.3 Batasan dalam Skema Simulasi

Skema simulasi pengujian ini dilakukan pada satu *cell*, di mana sebaran *user* menggunakan metode secara acak (*random*) untuk menggambarkan distribusi secara *real-time*, termasuk variasi jarak antar pengguna baik itu *Cellular User* (*CU*) dan *D2D User* (*DU*) terhadap *Base Transceiver Station* (*BTS*). Dalam pengalokasian sumber daya, pengujian ini menentukan jumlah maksimum *Cellular User* (*CU*) dan *D2D User* (*DU*), di mana rentang jumlah maksimum *Cellular User* (*CU*) dari 30 hingga 80, dan untuk *D2D User* (*DU*) 30 hingga 80 pasang pengguna. Umumnya, pada sistem komunikasi seluler mobilitas pengguna bergerak secara dinamis dalam area cakupan *cell*. Namun, skema alokasi dalam pengujian ini kami mengasumsikan bahwa pengguna tidak bergerak tetapi simulasi yang dilakukan menyerupai skenario *stop-motion* di mana tiap detiknya posisi pengguna akan tersebar secara acak berdasarkan penggunaan metode *random*. Model kanal yang digunakan mencakup *large-scale fading*, di mana *path loss* mengurangi daya sinyal seiring bertambahnya jarak antara pemancar dan penerima, sementara *shadowing* disebabkan oleh penghalang fisik seperti gedung. *Fading* ini mempengaruhi sinyal secara lambat, tergantung pada jarak dan lingkungan sekitar,

pengujian ini dimodelkan menggunakan *Cost-231 Hata Model* atau *3GPP Urban Macro (UMa)*. Di sisi lain, *small-scale fading* terjadi pada skala kecil, terutama karena *multipath propagation*, di mana sinyal tiba melalui jalur-jalur berbeda dengan waktu tunda yang berbeda. *Fading* ini terjadi lebih cepat dan dipengaruhi oleh refleksi atau *Line of Sight (LOS)*. *Small-scale fading* dimodelkan menggunakan distribusi *Rayleigh* untuk kanal *multipath* tanpa komponen *Line of Sight (LOS)* atau Rician untuk skenario dengan komponen *Line of Sight (LOS)*. Efek *shadowing* pada kanal ini mengikuti distribusi log-normal atau normal untuk merepresentasikan fluktuasi sinyal, sedangkan kebisingan kanal diasumsikan mengikuti model *Additive White Gaussian Noise (AWGN)* untuk menyederhanakan analisis.