

# BAB 1

## USULAN GAGASAN

### 1.1 Deskripsi Umum Masalah

Pertumbuhan *User Equipment* (UE) di era digitalisasi semakin pesat menyebabkan kebutuhan kapasitas jaringan seluler juga meningkat. Dilansir dari laporan Ericsson tahun 2023, jumlah UE yang saat ini mencapai sekitar 8,2 miliar diprediksi akan meningkat menjadi 9,1 miliar pada akhir tahun 2027 secara global [1]. Berdasarkan peningkatan ini, mengakomodasi permintaan jumlah kebutuhan kapasitas akan lebih besar serta terus bertambah seiring pergantian waktu. Peningkatan populasi UE di suatu wilayah akan memicu banyaknya interferensi yang mengganggu kualitas layanan sehingga diperlukannya pengelolaan jaringan yang optimal terhadap beban jaringan.

Dalam ruang lingkup *Heterogeneous Networks* (HetNets), peningkatan populasi UE menyebabkan tantangan besar terhadap ketidakseimbangan beban dan konsumsi yang tidak efisien. Pengelolaan yang efektif dan efisien antara kedua aspek ini menjadi semakin penting terutama dalam sistem HetNets, yakni teknologi seluler generasi 4G dan 5G. Dalam sistem HetNets, terdapat beragam jenis sel jaringan seperti *macrocell* serta *microcell*, *pico cell*, dan *femtocell* merupakan bagian dari *small cell* yang harus diatur secara efektif dan sistematis. Pengintegrasian berbagai jenis sel ini, peningkatan kapasitas jaringan dapat terjadi sembari mengurangi konsumsi spektrum dan daya terhadap beban jaringan yang dialami sistem. Menurut penelitian, HetNets memiliki kemampuan untuk meningkatkan kapasitas sistem dalam kepadatan UE, cakupan wilayah, dan menyediakan konektivitas pengguna dalam hal pembagian sumber daya [1]. Melalui keberagaman dalam sistem ini, diperlukannya manajemen interferensi dan alokasi sumber daya secara optimal untuk mengatasi tantangan tersebut.

### 1.2 Analisis Masalah

HetNets memiliki konsep dengan pengalokasian sumber daya yang merupakan aspek krusial dalam mempengaruhi kinerja dan kapasitas keseluruhan jaringan. Permasalahan yang lazim dalam pengalokasian ini adalah penggunaan yang tidak efisien dari sumber daya yang tersedia. Pengalokasian sumber daya dalam HetNets penting untuk kinerja dan kapasitas jaringan. Menyebarkan sejumlah *macro* dan *small cell* dalam jaringan HetNets diharapkan untuk meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan dengan memperluas jangkauan dan meningkatkan pengalaman UE [1]. Maka dari itu, tantangan utamanya adalah ketidakseimbangan penempatan stasiun basis *macro cell* dan *small cell* yang menyebabkan

distribusi kapasitas yang tidak merata, di mana beberapa wilayah padat pengguna mengalami kemacetan data sementara wilayah lain kurang memanfaatkan sumber daya. Selain itu, alokasi spektrum frekuensi yang tidak optimal memicu pemborosan sumber daya serta interferensi antar sel. Masalah juga muncul dalam manajemen interkoneksi antar sel saat perangkat berpindah, yang bisa mengakibatkan gangguan layanan jika transisi tidak dikelola dengan baik.

- **Alokasi Resource Block (RB)** : Ketidakseimbangan alokasi RB pada UE di berbagai sel mengakibatkan kemacetan lalu lintas data dan gangguan dalam jaringan, serta mempengaruhi kualitas layanan bagi pengguna akhir.
- **Alokasi Spektrum Frekuensi** : Alokasi spektrum frekuensi yang tidak optimal dan tidak efisien dapat berdampak pada interferensi antar-jaringan, kapasitas jaringan, dan dapat mengurangi kualitas sinyal.
- **Power Efficiency** : Penggunaan daya yang tidak efisien dapat mengakibatkan konsumsi daya yang berlebihan, biaya operasional yang tinggi, dan dampak negatif pada lingkungan.
- **Fairness** : *Fairness* digunakan untuk memberikan alokasi sumber daya yang adil kepada semua UE di dalam jaringan. Parameter ini bertujuan mengurangi kesenjangan antara pengguna yang berada di area dengan konektivitas optimal dan pengguna yang berada di area kurang menguntungkan.
- **Data Rate** : *Data rate* dalam jaringan HetNets mengacu pada kecepatan transmisi data yang diukur dalam bit per detik (bps). Dalam konteks HetNet, kecepatan data mewakili kemampuan jaringan untuk mengirimkan data antara pengguna dan jaringan melalui kombinasi elemen jaringan yang berbeda seperti *Macro Base Station* (MBS) yang mencakup area yang lebih luas dengan *data rate* yang moderat. Adapun *Small Base Station* (SBS), digunakan untuk meningkatkan kapasitas jaringan di area padat pengguna dengan *data rate* yang lebih tinggi.

### 1.2.1 Aspek Teknis

Masalah utama dalam pengelolaan jaringan HetNets adalah bagaimana memastikan kinerja sistem tetap optimal dan efisien di tengah tantangan yang semakin kompleks. Salah satu kendala yang sering muncul adalah distribusi pengguna yang tidak merata dan tingginya interferensi antara perangkat, terutama di area dengan kepadatan lalu lintas data yang tinggi. Pengelolaan sumber daya, seperti frekuensi dan penggunaan daya, juga menjadi tantangan besar, di mana jaringan harus tetap responsif tanpa menurunkan kualitas layanan. Selain itu,

kemampuan jaringan untuk beradaptasi dengan perubahan kondisi, seperti mobilitas pengguna yang cepat dan bertambahnya perangkat, menjadi persoalan yang perlu diatasi agar tidak menyebabkan gangguan layanan. Pendekatan teknologi dan optimisasi sistem menjadi sangat penting untuk mengatasi masalah-masalah ini agar jaringan HetNets dapat berjalan lebih efisien dan tetap andal.

### 1.2.2 Aspek Lingkungan

Pada jaringan HetNets yang semakin padat, terutama di area dengan tingkat pengguna yang tinggi, masalah konsumsi daya menjadi perhatian utama. Seiring dengan meningkatnya jumlah perangkat dan *small cells* yang digunakan, kebutuhan daya terus meningkat. Hal ini tentu berdampak pada lingkungan, karena penggunaan daya yang berlebihan dapat memperburuk jejak karbon jaringan. Salah satu solusi yang diusulkan adalah manajemen daya yang lebih cerdas, seperti algoritma yang dapat mematikan *small cells* secara dinamis berdasarkan kebutuhan aktual pengguna. Menurut penelitian [2], pendekatan ini dapat mengurangi konsumsi daya hingga 35%, yang pada akhirnya mengurangi dampak lingkungan negatif. Dengan demikian, pengelolaan daya yang efisien tidak hanya bermanfaat bagi operator dalam hal penghematan biaya, tetapi juga membantu menciptakan jaringan yang lebih ramah lingkungan.

### 1.2.3 Aspek Sosial

Tantangan utama dalam jaringan HetNets dari sisi sosial adalah memastikan semua pengguna, terutama di area dengan kepadatan tinggi seperti perkotaan maupun daerah rural, mendapatkan akses yang merata. Semakin banyak orang yang mengandalkan layanan daring seperti telemedis, konferensi video, dan aplikasi lainnya menyebabkan ketersediaan koneksi yang stabil dan cepat menjadi kebutuhan penting. Namun, tanpa manajemen jaringan yang baik, kepadatan pengguna di suatu area bisa menyebabkan gangguan konektivitas, membuat akses terhadap layanan digital menjadi tidak merata. Hal ini dapat membatasi kesempatan pengguna di area yang lebih padat untuk memanfaatkan teknologi secara optimal. Oleh karena itu, pengelolaan konektivitas yang baik sangat diperlukan agar jaringan dapat memberikan layanan yang merata dan berkualitas tinggi, sehingga setiap pengguna, di mana pun mereka berada, bisa mendapatkan akses yang sama terhadap teknologi modern ini.

### 1.3 Analisis Solusi yang Ada

Pada jaringan HetNets berbagai tantangan teknis, lingkungan, dan sosial telah diidentifikasi, terutama dalam hal distribusi pengguna, interferensi, efisiensi spektrum dan daya serta aksesibilitas. Untuk menjawab permasalahan tersebut, beberapa solusi telah dikembangkan dan diimplementasikan dalam berbagai penelitian. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah pengintegrasian base stations seperti Macro Base Station (MBS) dan Small Base Station (SBS) dengan penggunaan frekuensi yang berbeda sehingga memungkinkan manajemen beban jaringan menjadi lebih efisien dan optimal [1]. Solusi ini membantu mendistribusikan pengguna dengan lebih baik di antara sel-sel jaringan, sehingga mengurangi interferensi dan memastikan kualitas layanan yang lebih stabil [2].

Namun, solusi ini juga menghadapi tantangan, terutama terkait dengan distribusi sumber daya pada pengguna yang tidak selalu merata dan konsumsi spektrum yang tidak optimal. Untuk menangani masalah ini, beberapa teknologi baru telah diusulkan, seperti algoritma *resource allocation* untuk mengelola sumber daya yang diberikan kepada pengguna dan algoritma *user pairing* untuk memastikan pengguna memanfaatkan kanal dengan baik serta memastikan efisiensi spektrum menggunakan teknik *User Pairing*.

### 1.4 Tujuan

Pada pembuatan tugas akhir capstone desain ini memiliki tujuan utama untuk mengalokasikan sumber daya radio (*resource block*) menggunakan algoritma *Auction*, *Greedy* dan mengimplementasi *user pairing* menggunakan algoritma *Gale-shapley* pada jaringan HetNets yang di implementasi pada model sistem *two-tier* HetNets menggunakan frekuensi 1800 MHz dengan *multiple access* OFDMA pada MBS dan 2600 MHz dengan *multiple access* PD-NOMA pada SBS sebagai solusi untuk menyelesaikan permasalahan interferensi serta distribusi sumber daya pada UE.

### 1.5 Batasan

- **Distribusi user dan alokasi jaringan:**

UE akan secara acak ditempatkan dalam lingkup *macro cell* dan *small cell*. User yang berada di *macro cell* akan dialokasikan layanan jaringan seluler berupa 4G *Long Term Evolution* (LTE) dan user yang berada di *small cell* akan dialokasikan layanan jaringan seluler 5G *New Radio* (NR) dengan spektrum frekuensinya.

- **Koordinat *Base Transceiver Station* (BTS):**

Model sistem HetNets terdiri dari MBS dan SBS sebagai pemberi *resource* terhadap user. MBS memiliki radius 2 km dan mempunyai posisi di tengah-tengah sel, lalu SBS memiliki radius 800 m menyesuaikan posisi untuk menempatkan 3 SBS dalam cakupan *macro cell* hingga tidak terjadi *overlapping*.

- **Batasan dalam mobilitas:**

Mobilitas atau aktifitas yang terjadi pada user juga merupakan aspek penting dalam sistem komunikasi HetNets karena perubahan cepat dalam lingkungan sinyal dapat mempengaruhi kinerja jaringan. Namun, model sistem dalam tugas akhir capstone ini membatasi bahwa suatu user tidak berpindah dari sel-nya masing-masing dan tidak menangkap dinamika mobilitas atau pergerakan user secara real-time atau dalam hitungan detik. Batasan ini ada karena penelitian ini difokuskan pada pengujian algoritma *Auction* dan *Greedy* sebagai alokasi *resource block* dan algoritma *user pairing* *Gale-shapley* dalam mempengaruhi hasil parameter kinerja.

- ***Handover* tidak menjadi fokus dalam sistem:**

Pada tugas akhir capstone ini, *handover* tidak menjadi sebuah fokus dalam model sistem yang akan diimplementasi. *Handover* adalah proses sebuah perangkat berpindah dari satu BTS ke BTS lain tanpa kehilangan konektifitas. Proses ini sangat penting dalam komunikasi *two-tier* HetNets yang melibatkan beberapa BTS. Namun, model sistem yang digunakan tidak menangkap proses *handover*. Oleh karena itu, penelitian ini lebih berfokus pada pengujian algoritma alokasi *resource block* dan *user pairing*. Batasan ini ada karena kompleksitas teknis dari implementasi *handover* yang efektif memerlukan mekanisme kompleks dan berada di luar ruang lingkup penelitian ini.

- **Teknik SIC pada NOMA:**

*Successive Interference Cancellation* (SIC) adalah teknik pada penerima yang menghilangkan interferensi dengan cara mendekode sinyal user lain (daya lebih besar) terlebih dahulu, lalu mengurangnya dari sinyal gabungan sebelum mendekode sinyal sendiri. Pada simulasi jaringan heterogen ini, SIC tidak diimplementasi dikarenakan memerlukan mekanisme kompleks serta konsumsi daya tambahan pada sisi perangkat penerima.