

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan jaringan 5G memberikan peluang besar untuk menjembatani kesenjangan digital, khususnya di wilayah rural yang selama ini belum terlayani secara optimal oleh infrastruktur terestrial (Yaacoub & Alouini, 2019). Salah satu solusi yang menjanjikan untuk mengatasi keterbatasan infrastruktur ini adalah pemanfaatan teknologi satelit orbit rendah (*Low Earth Orbit*, LEO), yang memiliki cakupan luas, latensi lebih rendah dibanding orbit geostasioner (GEO), dan implementasi yang lebih efisien (Leyva-Mayorga dkk., 2020). Integrasi satelit LEO dalam jaringan 5G telah menjadi fokus penelitian dan pengembangan di berbagai negara untuk mendukung konektivitas di daerah terpencil.

Meskipun demikian, penggunaan *backhaul* satelit tetap memiliki tantangan teknis yang signifikan, seperti keterbatasan *bandwidth*, potensi kemacetan trafik, dan latensi yang masih lebih tinggi dibandingkan koneksi terestrial (Guidotti dkk., 2019). Tantangan ini dapat memengaruhi *Quality of Service (QoS)* layanan 5G, sehingga diperlukan analisis yang komprehensif terhadap performa jaringan *backhaul* satelit, khususnya dalam kondisi variasi trafik di wilayah rural.

Pendekatan pemodelan sistem antrean menjadi salah satu metode analitis yang relevan untuk mengevaluasi performa jaringan. Sistem antrean dapat digunakan untuk memodelkan kedatangan paket data (*arrival process*), proses pelayanan (*service process*), dan keberangkatan paket data pada *link backhaul satelit* (Otero Perez dkk., 2019). Dengan pemodelan ini, kinerja jaringan dapat diukur melalui parameter seperti waktu tunggu rata-rata, panjang antrean, dan tingkat utilitas.

Dalam penelitian ini, digunakan tiga model antrean untuk merepresentasikan kondisi yang berbeda pada sistem *backhaul satelit*. Model M/M/1 digunakan untuk memodelkan skenario *single server* dengan kapasitas *buffer* tak terbatas. Model M/M/1/K digunakan untuk menggambarkan sistem *single server* dengan kapasitas *buffer* terbatas (*finite queue*), yang relevan untuk kasus *bandwidth* atau kapasitas *gateway* yang terbatas. Model M/M/c digunakan untuk merepresentasikan sistem

dengan beberapa *server* paralel, misalnya *multi-gateway* atau multi-kanal pada satelit.

Simulasi dilakukan menggunakan pustaka SimPy pada bahasa pemrograman Python. Laju kedatangan trafik data (*arrival rate*) yang divariasikan digunakan sebagai variabel utama untuk menganalisis performa ketiga model pada skenario yang berbeda. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang bagaimana perbedaan arsitektur antrean memengaruhi performa *backhaul* satelit dalam mendukung layanan 5G di wilayah rural, sekaligus memberikan rekomendasi teknis untuk pengelolaan trafik yang lebih efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, penelitian ini berfokus pada analisis dan perbandingan performa tiga model antrean ($M/M/1$, $M/M/1/K$, dan $M/M/c$) pada sistem *backhaul* satelit untuk jaringan 5G di wilayah rural. Rumusan masalah yang diajukan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik performa sistem antrean *single-server* ($M/M/1$), *single-server* kapasitas terbatas ($M/M/1/K$), dan *multi-server* ($M/M/c$) pada *backhaul* satelit ketika digunakan untuk mendukung layanan 5G di wilayah rural?
2. Bagaimana pengaruh laju kedatangan trafik data (*arrival rate*) yang divariasikan terhadap metrik performa sistem yakni waktu tunggu, panjang antrean, dan tingkat utilitas ketika melakukan skenario pemodelan antrean untuk merepresentasikan performa *backhaul* satelit di wilayah rural?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan implementasi dan perbandingan pemodelan tiga sistem antrean ($M/M/1$, $M/M/1/K$, dan $M/M/c$) pada *backhaul* satelit untuk jaringan 5G di wilayah rural dan menganalisis perbedaan performa ketiga model tersebut dalam mendukung jaringan 5G pada kondisi *arrival rate* yang divariasikan.
2. Melakukan evaluasi pengaruh *arrival rate* yang divariasikan terhadap kinerja sistem yakni waktu tunggu, panjang antrean, dan tingkat utilitas lalu memberikan rekomendasi teknis pengelolaan trafik untuk meningkatkan

efisiensi penerapan teknologi *backhaul* satelit di wilayah rural dengan keterbatasan infrastruktur terestrial.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian lebih terarah dan fokus, ditetapkan ruang lingkup penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian dilaksanakan secara simulasi menggunakan SimPy tanpa pengujian langsung pada infrastruktur fisik.
2. Simulasi difokuskan pada jalur *backhaul* satelit LEO, tidak membahas aspek perangkat keras, protokol akses radio, maupun arsitektur *core network* 5G.
3. Model antrean yang digunakan terbatas pada model antrean *single server* tanpa kapasitas antrean (M/M/1), *single server* dengan kapasitas antrean (M/M/1/K), dan *multi server* tanpa kapasitas antrean (M/M/c).
4. Parameter utama yang dianalisis adalah *arrival rate*, *service rate*, waktu tunggu, panjang antrean dan utilitas.
5. Nilai *service rate* yang ditetapkan 34 paket/detik hasil *downscaling* dari kapasitas *backhaul* satelit LEO.
6. *Arrival rate* divariasikan dari 1-33 paket/detik untuk merepresentasikan kondisi trafik ringan hingga padat.
7. Wilayah rural didefinisikan sebagai area dengan kepadatan penduduk rendah, infrastruktur telekomunikasi terbatas, dan tingkat trafik jaringan yang relatif kecil dibandingkan wilayah urban.
8. Data trafik menggunakan asumsi dari literatur atau laporan industri telekomunikasi.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat baik secara teoritis maupun praktis. Secara teoritis, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan ilmu di bidang telekomunikasi dan rekayasa jaringan, khususnya terkait pemodelan sistem antrean (M/M/1, M/M/1/K, dan M/M/c) pada *backhaul* satelit untuk jaringan 5G di wilayah rural. Studi ini mengisi kekosongan kajian mengenai hubungan antara karakteristik teknis satelit, konfigurasi antrean, dan kondisi geografis rural, serta menyediakan

pendekatan metodologis yang dapat direplikasi pada studi serupa di negara berkembang dengan tantangan infrastruktur yang sejenis. Secara praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi acuan bagi operator telekomunikasi dalam mengoptimalkan pengelolaan trafik agar *delay* berkurang, *throughput* meningkat, dan *Quality of Service (QoS)* terjaga meskipun terdapat keterbatasan infrastruktur. Bagi pembuat kebijakan, temuan penelitian dapat mendukung perencanaan spektrum, pengembangan infrastruktur satelit, dan strategi investasi untuk memperluas jangkauan layanan 5G di daerah terpencil. Manfaat akhirnya adalah peningkatan akses internet berkecepatan tinggi yang stabil bagi masyarakat rural, yang berpotensi mendorong pertumbuhan ekonomi, pendidikan, kesehatan digital, dan inklusi sosial.