

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gelombang 5G mengubah cara kota-kota modern dalam beraktivitas, layanan *real-time* yang responsif, serta jutaan perangkat yang saling terhubung dalam ekosistem *Internet Of Things* (IOT). Di balik jargon teknisnya *enhanced mobile broadband*, *ultra reliable low latency communications*, dan *massive machine type communications* 5G pada praktiknya adalah infrastruktur dasar yang menentukan kelancaran transaksi digital, mobilitas, layanan publik, hingga keamanan. Namun performa jaringan bukan sekadar soal menambah jumlah site. Ia bergantung pada pemahaman yang cermat terhadap kanal radio. Bagaimana sinyal merambat, melemah, dipantulkan, dan dihalangi lingkungan. Standar kanal industri seperti 3GPP TR 38.901 (R17) menegaskan pentingnya pemodelan untuk rentang 0,5–100 GHz dan membedakan skenario urban mikro (umi) dan urban makro (uma) dua habitat utama jaringan 5G di kota sebagai landasan perencanaan dan evaluasi kinerja. Dengan kata lain, kualitas layanan yang kita rasakan di perangkat berawal dari akurasi memodelkan rugi lintasan (*path loss*) di kelas lingkungan yang tepat. (Ali et al., 2022)

Di kawasan urban padat, isu kuncinya bukan hanya “ada sinyal atau tidak”, melainkan seberapa banyak daya sinyal yang hilang sepanjang lintasan. Rugi lintasan meningkat saat frekuensi membesar dan jalur pandang terganggu, sehingga 5G di pita menengah (sekitar 3,3–3,8 GHz) dan terlebih lagi mmWave membutuhkan desain yang lebih presisi. Studi mutakhir menunjukkan, pada lingkungan kota yang dipenuhi bangunan tinggi, *shadowing*, *blockage*, serta *multipath* memper berat pelemahan, di pita lebih tinggi, selisih path loss kian nyata sehingga margin rancangan harus diperhitungkan lebih konservatif. Temuan-temuan di literatur mmWave dan mid-band mempertegas logika dasar itu, makin tinggi frekuensinya, makin sensitif terhadap hambatan, sehingga prediksi rugi lintasan yang tepat menjadi prasyarat perencanaan sel dan beam yang efisien. Hal ini menggeser

fokus perencanaan jaringan dari sekadar cakupan (*coverage*) ke *coverage quality*, yakni bagaimana sinyal bertahan melewati permukaan kaca, beton, lorong jalan di antara gedung, kepadatan lalu lintas manusia dan perangkat yang digunakan untuk berkomunikasi.(Schumacher et al., 2019)

Kondisi tersebut mencapai puncaknya di klaster *Central Business District* (CBD). CBD adalah “ruang hidup” jaringan 5G yang paling sibuk, lalu lintas data menumpuk pada jam-jam puncak, kepadatan gedung menghadirkan banyak jalur pantulan sekaligus zona bayangan, dan kebutuhan layanan real-time bisnis menuntut reliabilitas tinggi. Karakter outdoor-to-indoor (O2I) turut menambah kompleksitas, sinyal harus menembus material dinding dan kaca yang beragam, membuat persebaran daya tak seragam bahkan di dalam satu gedung. Kajian data driven terbaru pada O2I menunjukkan bahwa parameter-parameter material dan tata letak urban/indoor secara nyata memengaruhi delay spread dan path loss, dan beberapa model standar (mis. 3GPP, COST-231, WINNER+) dapat akurat dalam kondisi tertentu namun perlu kewaspadaan. Konteks saat diaplikasikan Di level makro, penelitian optimasi cakupan di kawasan padat juga mengindikasikan tantangan mempertahankan kualitas cakupan luar-ruang, sehingga strategi densifikasi small cell, penempatan site yang cermat, serta kalibrasi model terhadap data lokal menjadi kunci untuk CBD. Semua ini menegaskan urgensi evaluasi empiris yang spesifik lokasi bukan sekadar mengandalkan angka rata-rata global.(Shaibu et al., 2023)

Di sisi lain, pemodelan empiris klasik terutama keluarga Okumura Hata dan turunannya tetap menjadi alat kerja populer karena kesederhanaan dan jejak pakai yang panjang. COST-231 Hata, sebagai perluasan Hata, dirancang untuk memperluas validitas hingga 2 GHz dan menyediakan koreksi lingkungan urban/suburban sehingga lama menjadi rujukan perencanaan seluler generasi sebelumnya. Namun literatur mutakhir mengingatkan dua hal penting. Pertama, walau COST-231 Hata masih bermanfaat sebagai baseline di lingkungan urban, rentang frekuensi dan asumsi dasarnya membuat hasilnya bisa bias bila diterapkan langsung pada 5G mid-band tanpa adaptasi. Kedua, model-model kanal modern (mis. keluarga 3GPP TR 38.901) secara

eksplisit mengakomodasi fenomena UMi/UMa dan O2I untuk 0,5–100 GHz, sehingga memberi benchmark baru yang lebih selaras dengan spektrum 5G saat ini. Implikasi praktisnya COST-231 Hata dapat tetap dipakai sebagai pembanding ringan atau awal, tetapi perlu dievaluasi dan bila perlu dikalibrasi dengan data lapangan setempat agar selaras dengan realitas CBD dan pita frekuensi yang lebih tinggi.(Sudhamani et al., 2023)(Ali et al., 2022)

Berangkat dari realitas itu, solusi yang diusulkan penelitian ini bersifat dua tahap dan berorientasi praktik. Tahap pertama adalah evaluasi empiris melakukan kampanye pengukuran kekuatan sinyal/RSRP dan menghitung rugi lintasan pada pita 5G yang relevan (mis. 3,5 GHz) di klaster CBD terpilih, dengan desain rute yang memotret variasi LOS/NLOS, koridor jalan, street canyon, dan titik O2I. Hasil pengukuran ini kemudian dibandingkan dengan prediksi COST-231 Hata (menggunakan parameter urban) untuk menghitung metrik kesalahan seperti RMSE/MAE, serta menganalisis bias sistematis terkait ketinggian antena, jarak, dan morfologi gedung. Tahap kedua adalah penyelarasan model jika ditemukan deviasi konsisten, penelitian akan mengeksplorasi kalibrasi parameter berbasis regresi atau pendekatan data driven ringan misalnya *gradient boosting* (XGBoost) yang belakangan menunjukkan performa baik dalam memetakan non-linearitas propagasi 5G urban sekaligus menyediakan interpretabilitas. Untuk sensitivitas dan validasi, hasilnya dapat pula dibandingkan dengan pendekatan ensemble neural network yang dilaporkan efisien memprediksi path loss berbasis fitur lingkungan. Dengan langkah berjenjang ini, operator bisa memperoleh rule of thumb lokal yang praktis. Kapan COST-231 Hata cukup, kapan perlu koreksi, dan bagaimana besaran koreksinya di CBD setempat.(Azevedo & Mendonça, 2024)

Tujuan penelitian ini merangkum kebutuhan teknis dan manfaat praktis bagi ekosistem telekomunikasi di Indonesia. Pertama, menyajikan gambaran kuantitatif rugi lintasan 5G pada pita menengah di klaster CBD melalui pengukuran terstruktur agar karakter kanal lokal terdokumentasi dengan baik. Kedua, menilai akurasi COST-231 Hata terhadap data nyata di lingkungan urban padat serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi deviasi

(ketinggian antena, jarak, LOS/NLOS, kepadatan dan tinggi gedung, serta kondisi O2I). Ketiga, merumuskan rekomendasi teknis, apakah COST-231 Hata layak dipakai sebagai baseline perencanaan di CBD pada 5G, parameter apa yang perlu disetel, dan safety margin berapa yang realistis untuk desain link budget. Keempat, mengeksplorasi jalur peningkatan berbasis data lokal mulai dari kalibrasi sederhana hingga data-driven terukur sebagai pelengkap model klasik, tanpa mengorbankan kemudahan implementasi. Pada akhirnya, keluaran penelitian diharapkan langsung berguna: memandu penempatan site dan small cell, menyusun beam strategy, serta mengoptimalkan biaya dan kinerja jaringan sejalan dengan praktik kanal 3GPP yang menjadi standar industri.(Ali et al., 2022)

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana karakteristik rugi lintasan jaringan 5G di kawasan Central Business District (CBD)?
- b. Sejauh mana model COST-231 Hata mampu memprediksi rugi lintasan jaringan 5G di kawasan CBD dibandingkan hasil pengukuran lapangan?
- c. Bagaimana penerapan teknik kalibrasi atau penyesuaian parameter dapat meningkatkan akurasi model COST-231 Hata?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan Penelitian

- a. Menganalisis karakteristik rugi lintasan jaringan 5G di kawasan CBD.
- b. Mengevaluasi kinerja model COST-231 Hata dengan membandingkan hasil prediksi dan pengukuran lapangan.
- c. Mengembangkan metode kalibrasi model COST-231 Hata untuk meningkatkan akurasi prediksi.

1.3.2 Manfaat Penelitian

- a. Memberikan kontribusi akademis dalam bidang perencanaan dan optimasi jaringan telekomunikasi.

- b. Menjadi referensi bagi operator seluler dalam merancang jaringan 5G yang lebih efisien di kawasan urban padat.
- c. Memberikan acuan praktis bagi penelitian selanjutnya terkait model propagasi jaringan 5G di lingkungan perkotaan.

1.4 Batasan Masalah

- a. Penelitian hanya dilakukan di kawasan Central Business District (CBD).
- b. Model prediksi yang digunakan adalah COST-231 Hata sebagai fokus utama
- c. Faktor eksternal seperti interferensi, kondisi cuaca ekstrem, serta mobilitas pengguna tidak dibahas secara mendalam.

1.5 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

1. Studi Literatur: mengkaji teori jaringan 5G, propagasi sinyal, rugi lintasan, dan model COST-231 Hata.
2. Pengumpulan Data Lapangan: melakukan drive test menggunakan perangkat pengukuran jaringan 5G.
3. Perhitungan Teoritis: menghitung rugi lintasan dengan model COST-231 Hata.
4. Analisis Perbandingan: membandingkan hasil prediksi dengan data pengukuran lapangan.
5. Kalibrasi Model: melakukan penyesuaian parameter jika terdapat deviasi signifikan.
6. Kesimpulan: menarik hasil analisis dan memberikan rekomendasi.