

STUDI KELAYAKAN KONEKTIVITAS *DRONE* PADA JARINGAN LTE SEBAGAI LAYANAN 5G MASA DEPAN DI DAERAH RURAL

Annisa Sarah¹, Sandra Octaviani BW²

^{1,2}Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jakarta

e-mail: ¹annisa.sarah@atmajaya.ac.id, ²sandra.oct@atmajaya.ac.id

ABSTRAK

Pemanfaatan *drone* merupakan salah satu *use cases* 5G. Penggunaan teknologi seluler seperti LTE untuk komunikasi *drone* dapat menawarkan koneksi lebih baik dengan cakupan luas. Penelitian ini menguji kelayakan LTE sebagai sarana komunikasi *drone*, melalui simulasi NS-3. *Reference Signal Received Power* (RSRP) dan *Signal-to-Interference Ratio* (SINR) dianalisis dalam dua skenario. Skenario pertama, pengujian dengan menghubungkan satu *drone* ke satu *base station* (BS), dan melihat efek perubahan jarak dan ketinggian terhadap RSRP. Skenario kedua, pengujian SINR *downlink* dan SINR *uplink* pada *ground User Equipment* (UE) akibat adanya perubahan jumlah *drone* dan ketinggian *drone*. Simulasi dijalankan pada situasi rural, dengan frekuensi 880 MHz (*uplink*) dan 925 MHz (*downlink*). Hasil uji konektivitas *single-drone* memberikan RSRP yang baik hingga jarak yang cukup jauh, yaitu 60% probabilitas untuk memiliki RSRP >-80 dBm, pada jarak 1000 m. Hasil pengujian studi interferensi ialah pada saat *drone* berada di ketinggian 200 m, SINR *drone* lebih buruk dibandingkan saat berada di ketinggian 100 m. Hal tersebut dikarenakan *drone* mendapatkan interferensi dari BS lain dengan probabilitas *Line-of-Sight* (LOS) yang lebih tinggi. Sedangkan, nilai rata-rata *uplink* SINR untuk UE yang berada di daratan tidak terpengaruh dengan perubahan jumlah *drone*.

Kata kunci: eMBB, Komunikasi UAV, *drone*, 5G

ABSTRACT

Drones application is one of use cases of future 5G. LTE networks could assist drone to serve better with a wider coverage. We analyze the feasibility of LTE network for drone communication, in a NS-3 simulator. Reference Signal Received Power (RSRP) and Signal-to-Interference (SINR) was analyzed in two scenarios. For Scenario I, we study the connectivity performance between one drone and one base station (BS), and see the impact of changing distance and altitude. For Scenario II, we study the SINR with changing number of drones and its altitude. Different altitude was analyzed to study the drone's downlink SINR to serving BS, and different number of drones was studied to analyze the performance of average uplink SINR of ground UE. We use rural scenario, 880 MHz for downlink and 925 MHz for uplink. The single-drone connectivity test provides good result, with 60% probability to have RSRP >-80 dBm at 1000 m distance. For the interference study, the downlink SINR on 100 m height is better than 200 m, since higher drone has higher probability of Line-of-Sight (LOS) communication between drone and interfering BS. The average uplink SINR of ground UEs have no significant impact to the number of drone changes.

Keywords: eMBB, UAV Communication, 5G, *drone*

PENDAHULUAN

Teknologi 5G atau Teknologi Generasi Kelima dalam telekomunikasi diharapkan dapat menyediakan layanan komunikasi yang cepat dan handal, untuk semua orang ataupun mesin, kapan pun, dan dimana pun [1]. Kedepannya, komunikasi antar mesin yang masif akan menjadi salah satu *key enabler* untuk memenuhi ekspektasi-ekspektasi layanan masa depan 5G, salah satunya ialah IoT (*Internet-of-things*). Teknologi UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*) yang bekerja pada ketinggian rendah seperti *drone*, merupakan salah satu realisasi dari komunikasi mesin ke mesin (M2M) pada IoT, dan penggunaannya sudah cukup populer. Penerapan UAV diperkirakan akan memberikan dampak besar ke berbagai sektor, termasuk sektor transportasi, komunikasi, agrikultur, pertahanan, penanggulangan bencana, dan pelestarian lingkungan [2]. Beberapa perusahaan besar seperti Alphabet (d/h Google), Amazon, Alibaba, sudah melakukan eksperimen untuk pengantaran barang ke pemesan dengan menggunakan *drone* [3]–[5]. UAV juga digunakan untuk mengirim obat, vaksin, dan bantuan medis lainnya ke daerah terpencil yang memiliki akses jalan yang minim, atau rusak akibat gempa bumi [6]. Dan masih banyak lagi manfaat lainnya seperti untuk *monitoring* lahan pertanian, batas negara, kondisi hutan, dan sebagainya.

Untuk jaringan komunikasi UAV, penggunaan protokol komunikasi standar IEEE 802.11 (Wi-Fi) sudah banyak diterapkan dan dipelajari dalam beberapa tahun terakhir [7]–[9]. Sedangkan, penggunaan protokol komunikasi jenis lain, seperti jaringan LTE, belum banyak terpapar dan perlu diteliti lebih lanjut. Padahal, jaringan LTE yang dapat menawarkan koneksi

dengan *low latency* dan *high bitrate*, berpotensi memberikan manfaat lebih pada UAV, seperti jangkauan yang lebih luas, dan dapat menggunakan *Base Transceiver System* (BTS) yang sudah tersebar ke berbagai penjuru [10]. Untuk meneliti kesanggupan jaringan LTE dalam melayani koneksi UAV, terdapat beberapa penelitian dan eksperimen yang sudah dilakukan, salah satu contohnya ialah pengujian kualitas sinyal dan karakteristik kanal radio di daerah padat penduduk. Dalam suatu penelitian yang fokus pada pengukuran kualitas sinyal penerima, dibuktikan bahwa jaringan LTE dapat digunakan untuk memperpanjang jarak tempuh maksimum, dan memungkinkan pengguna untuk mengontrol UAV tanpa adanya visual *Line-of-Sight* (LOS) [11]. Perusahaan Qualcomm Technologies juga melakukan eksperimen pada jaringan komersil AT&T, untuk mempelajari jangkauan sinyal, daya terima sinyal, *throughput*, *delay*, dan mobilisasi pada jaringan LTE [12]. Hasil studi menunjukkan kualitas sinyal yang baik dengan ketinggian maksimum 122 m. Diatas ketinggian tersebut, sinyal mengalami interferensi yang cukup tinggi. Pada penelitian lain yang juga mengukur *Signal to Interference Ratio* (SINR), disebutkan bahwa efek interferensi yang dialami baik oleh UAV ataupun *User Equipment* (UE) perlu diperhatikan lebih jauh [10]. Dalam penelitian tersebut dinyatakan bahwa selain turunnya daya terima saat adanya peningkatan ketinggian UAV, terdapat peningkatan interferensi yang tidak dapat diabaikan. Semakin tinggi UAV, maka probabilitas LOS antara UAV dengan beberapa BTS lain akan semakin tinggi, maka semakin tinggi pula interferensi yang dialami. Selain itu, dari sisi *uplink*, UAV juga dapat memberikan interferensi ke jaringan *uplink* UE dan

sel BTS lain karena link LOS yang terjalin kuat antara UAV dan BTS.

Diluar dari penelitian-penelitian diatas, masih ada *gap-gap* penelitian yang perlu dijembatani, seperti kurangnya analisis kuantitatif secara teoretis. Riset-riset yang ada umumnya dilakukan secara eksperimental dan dalam kondisi ideal (tanpa mempertimbangkan kondisi trafik jaringan, dsb). Maka dari itu, perlu dilakukan analisa dan penelitian lebih lanjut untuk mempelajari koneksi *drone* pada jaringan LTE, agar dapat mengeksplorasi manfaatnya secara maksimal. Selain itu, penelitian-penelitian yang dilakukan dengan cara eksperimen dapat memakan waktu dan juga biaya yang besar. Pembentukan *system-level-simulator* untuk analisa koneksi UAV pada jaringan LTE, dirasa cukup penting untuk dapat mempelajari sebab-akibat dari adanya penyebaran UAV di jaringan LTE.

Studi pada *system-level-simulator* dapat memberikan gambaran pada kondisi realita dengan waktu dan biaya yang dapat ditekan. Namun pada saat ini, studi konektivitas *drone* pada *system level simulator* umumnya dijalankan dengan situasi perkotaan atau *urban area*, sedangkan studi kasus dengan menggunakan rural atau *open area* belum dipelajari lebih lanjut. Pada penelitian ini, situasi simulasi akan difokuskan untuk memenuhi syarat kondisi di daerah rural, dengan pertimbangan bahwa di Indonesia terdapat banyak lokasi yang diklasifikasikan sebagai *rural*.

A. Rumusan Masalah Penelitian

Masalah utama yang akan dibahas dalam penelitian ini ialah mempelajari kualitas komunikasi UAV yang digelar pada jaringan LTE, dengan rumusan masalah:

1. Parameter apa saja yang penting untuk dipertimbangkan jika ingin menggelar komunikasi UAV melalui jaringan LTE?
2. Bagaimana performansi komunikasi UAV di jaringan LTE, terkait dengan parameter-parameter yang dikaji?
3. Dampak apa yang dialami UAV, jika terdapat perubahan kondisi trafik yang diakibatkan dari komunikasi terrestrial UE pada jaringan LTE, dari sisi *downlink* dan *uplink*?
4. Dampak apa yang dialami terrestrial UE, jika banyak UAV yang beroperasi pada jaringan LTE, dari sisi *downlink* dan *uplink*?

B. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan dari penggunaan UAV pada jaringan LTE, dengan pendekatan simulasi

C. Manfaat dan Kontribusi Penelitian

Pemanfaatan UAV ini diharapkan dapat membantu masyarakat dalam meningkatkan efektivitas pekerjaannya, seperti pemanfaatan untuk monitoring lahan pada *Smart-farming*, pengiriman bantuan pangan atau medis untuk korban bencana, juga daerah terpencil. Analisis kelayakan ini merupakan tahap pertama, dan melalui analisis ini, diharapkan dapat memberikan gambaran secara eksak untuk menyediakan layanan UAV dengan jaringan seluler.

KAJIAN PUSTAKA

A. Definisi dan Pengembangan UAV

Unmanned Aircraft atau pesawat tanpa awak, adalah semua tipe pesawat yang dikontrol dari jarak jauh. *Aircraft*

yang termaksud dalam penelitian ini disebut dengan *Unmanned Aerial Vehicle* atau kendaraan tanpa awak yang beroperasi di udara. UAV terdiri dari beberapa bagian, seperti avionik, sensor, *payload* atau beban bawaan, *software*, perangkat komunikasi yang menyediakan link antar UAV dan Stasiun Pengontrol (*Ground Control Station/GCS*) [13].

Klasifikasi UAV berdasarkan jarak maksimum dan ketinggian maksimum dapat terbagi ke dalam tiga golongan, yaitu kecil, sedang, dan besar. Ketinggian terbang maksimum untuk UAV kecil adalah 300 m, sedangkan untuk yang besar dapat mencapai 5500 m. Untuk jarak tempuh, UAV kecil dapat menempuh hingga 3 km, dan untuk UAV sedang dan besar dapat mencapai 150-250 km [14]. Dalam penelitian ini, pengimplementasian teknologi akan fokus ke pemanfaatan UAV kecil saja.

B. LTE untuk Perkembangan 5G

Definisi teknologi Generasi Kelima bukan hanya sebatas teknologi dengan jaringan radio akses baru, namun 5G juga termasuk dari gabungan perkembangan komunikasi generasi sebelumnya, atau biasa disebut dengan *Heterogeneous Network* atau HetNet [15]. Tujuan utama dari HetNet ialah untuk memaksimalkan pengalaman pengguna layanan, agar tetap terhubung, dengan *seamless connectivity*. Maka, perkembangan LTE yang saat ini mendekati standar 4G, kedepannya diharapkan dapat memenuhi layanan 5G dengan karakteristik LTE yang mampu memberikan *Throughput* besar sehingga dapat melayani *HD Video Streaming*, dan mendukung kebutuhan komunikasi dari aplikasi UAV di masa depan. [16]

C. Pemodelan Komunikasi UAV dalam Sistem Simulasi

Studi untuk pemodelan komunikasi antar *air-to-ground* telah dipelajari dalam beberapa tahun ini, agar dapat memberikan pemahaman secara kuantitatif. Salah satu bentuk pemodelan, ialah model propagasi, seperti yang sudah diteliti pada [17]. Model-model analisis seperti ini kemudian akan digunakan sebagai basis analisis dari sistem simulasi yang akan dirancang.

METODOLOGI

Penelitian ini terdiri dari beberapa langkah pengerjaan. Pertama, diperlukan adanya kajian ilmiah untuk memahami perkembangan pengetahuan pada topik terkait. Kedua, setelah memahami hal yang perlu diterapkan, maka peneliti merancang simulator. Terakhir, melakukan simulasi dan analisis performansi sesuai skenario yang sudah dirancang dan dijalankan.

• Studi Literatur

Kajian ilmiah diambil dari publikasi *paper* pada jurnal internasional seperti yang diterbitkan di IEEE atau sejenisnya. Untuk hal-hal seperti spesifikasi alat atau *drone*, didapatkan dari laman situs komersil dari penyedia alat atau *providers*.

• Perancangan Model

Model dirancang untuk mengikuti situasi area rural, dengan mempertimbangkan dua skenario. Skenario dibuat untuk dapat menjawab rumusan-rumusan masalah.

• Simulasi

Pada komunikasi nirkabel, merupakan hal yang umum untuk menggunakan SINR sebagai estimasi kualitas suatu komunikasi. Sebagai tambahan, diperlukan analisis parameter lain sebagai penunjang seperti RSS atau RSRP untuk menentukan performansi suatu jaringan. Penelitian ini menginvestigasi parameter-parameter

tersebut sesuai dengan kondisi skenario yang dijalankan

Dua skenario yang dijalankan ialah:

1. Menghitung RSRP dengan Simulator NS-3 untuk satu *drone* dan satu BTS atau eNodeB. Skenario ini menguji RSRP minimum yang diterima oleh *drone* pada ketinggian dan jarak tertentu yang ditinjau dari BTS. Komunikasi ini bersifat LOS.
2. Menghitung SINR dengan Simulator NS-3 untuk satu atau beberapa *drone* dengan beberapa BTS baik untuk koneksi LOS dan Non LOS. Pada skenario ini, studi difokuskan pada investigasi interferensi yang diakibatkan oleh BTS lain saat *drone* memiliki tinggi tertentu, begitu juga sebaliknya.

Setelah implementasi skenario diatas, maka kualitas dapat diestimasi dengan klasifikasi yang tertulis pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi SINR dan RSRP

Klasifikasi	SINR (dB)	RSRP (dBm)
Sangat Baik	≥ 20	≥ -80
Baik	13 sampai dengan 20	-80 sampai dengan -90
<i>Mid-cell</i>	0 sampai dengan 13	-90 sampai dengan -100
<i>Cell-Edge</i>	≤ 0	≤ 100

- Analisis hasil

Simulator NS-3 digunakan sebagai analisis performansi *drone* dengan jaringan LTE.

SIMULASI

A. Model Propagasi

Model propagasi yang digunakan dalam penelitian ini ialah *Hybrid Buildings Propagation Loss Model*, yang mana model ini merupakan gabungan dari beberapa model propagasi: Model Hata, COST-231, ITU-R P.1411 (untuk komunikasi jarak dekat), ITU-R P.1238

(untuk komunikasi *indoor*). Kombinasi model propagasi yang berbeda-beda dapat mengevaluasi *pathloss* dengan skenario:

- Lingkungan: Urban, Suburban, open-areas;
- Frekuensi: 200 MHz sampai dengan 2600 MHz
- Komunikasi jarak dekat atau jarak jauh
- Posisi *node* atau perangkat dengan bangunan: *indoor*, *outdoor*, *hybrid* (adanya perpindahan dari *indoor* ke *outdoor*, atau sebaliknya)
- Penetrasi redaman bangunan
- Posisi lantai bangunan.

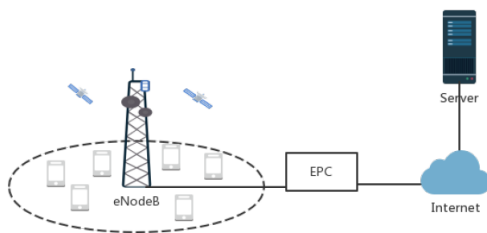
Pada simulasi ini, lingkungan yang dipertimbangkan ialah *open-areas*, dengan frekuensi 880 MHz untuk *uplink*, dan 925 MHz untuk *downlink*. Komunikasi bersifat jarak jauh dengan *node* terletak di *outdoor*, sehingga tidak perlu mempertimbangkan redaman bangunan dan posisi lantai dalam sebuah bangunan.

B. Model Antena

Jenis antena yang digunakan dalam simulasi ini ialah antena sektoral, dengan model *Cosine Antenna*. Dalam bidang *spherical* (r, θ, ϕ) , NS3 mengabaikan komponen radial r , dan hanya mempertimbangkan faktor sudut (θ, ϕ) . Antena diasumsikan memiliki daya yang sama sepanjang axis θ dan ϕ , serta memiliki *tilting vertical* yang tidak dapat diubah. Padahal, memiliki kontrol atas *tilting vertical* pada axis r sangat penting karena antena pada BTS memiliki *tilting* yang umumnya mengarah kebawah untuk dapat mengakomodir kebutuhan UE yang berlokasi di daratan. Untuk menggambarkan situasi ini, daya pancar *drone* dibedakan dengan UE. *Drone*

memiliki daya pancar sebesar 7 dB, sedangkan UE memiliki daya pancar 10 dB. Dengan ini, *drone* seakan-akan beroperasi diluar *main lobe* antenna BTS. Orientasi yang diatur pada antenna ialah 0° , 120° dan -120° . *Beamwidth* 3 dB ialah 130° untuk semua sektor, dengan antenna *gain* sebesar 0 dB.

C. Model Simulasi dan Skenario



Gambar 1. Jaringan LTE dan EPC

Jaringan LTE dapat dimodelkan seperti pada Gambar 1. *Evolved Packet Core* (EPC) merupakan *core network* dari sistem LTE, yang terdiri dari empat elemen jaringan: *Serving Gateway* (*Serving GW*), *PDN Gateway*, *MME* dan *HSS*. EPC terhubung ke jaringan luar, yang termasuk *IP Multimedia Core Network Subsystem* (*IMS*). *Evolved Node B* (*eNodeB*) merupakan *base station* untuk LTE. UE atau *User Equipment* merupakan perangkat pengguna yang menghubungkan ke jaringan LTE. UE pada simulasi ini terdapat dua jenis: yaitu *drone*, dan UE pengguna yang berada di daratan atau *terrestrial UE*.

Simulasi Skenario 1 merupakan skenario fundamental pada penelitian ini. Pada skenario ini, diasumsikan bahwa ada satu *drone* dan satu *base station* di daerah rural / *open areas*, tanpa ada user lain. *Drone* dihubungkan ke sektoral antenna. Pada skenario ini, *RSRP* dan *RSSI* dari drone akan dipelajari dengan mengubah-ubah dua parameter. Parameter pertama ialah *altitude*, dan

parameter kedua ialah jarak atau *distance*.

Untuk Skenario II, simulasi lebih rumit dengan mempertimbangkan 200 UE biasa, dan 6 atau 24 *drone*, yang terhubung ke 7 BTS.

Status parameter yang digunakan terangkum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Setting

Parameter	Asumsi untuk Simulasi
Frekuensi <i>Uplink</i>	880 MHz (Band EARFCN 21450)
Frekuensi <i>Downlink</i>	925 MHz (Band EARFCN 3450)
<i>Bandwidth / Resource Blocks</i>	20 MHz / 100 RB
Tipe Antena	Direktif
HPBW	130 derajat
Model Trafik	<i>Full Buffer</i>
Jarak antar <i>Site</i>	1000 m
Distribusi UE	Distribusi Seragam
<i>Path-loss Model</i>	<i>Hybrid Building Models</i> (dari NS3)
<i>UE Antenna gain / Tx Power / height</i>	0 dBi / 10 dBm / 40 m
<i>Drone Antenna gain / Tx Power</i>	0 dBi / 7 dBm
<i>LTE BS Antenna gain / Tx Power / height</i>	0 dBi / 43 dBm / 1.5 m
<i>Noise Figure BS / UE</i>	5 dB / 9 dB

HASIL DAN ANALISIS

A. Performansi Jaringan Konektivitas

Menguji status konektivitas dasar dapat dilakukan dengan skenario seperti berikut, satu *drone* dihubungkan dengan satu BTS, kemudian dilakukan perubahan jarak dengan ketinggian yang sama, dan juga perubahan ketinggian pada jarak antara *drone* dan BTS yang tetap. Dalam skenario ini, terdapat 2 percobaan:

- Jarak atau *distance* antara BTS dan *drone* tetap, dengan perubahan ketinggian 50 sampai 300 m. Jarak

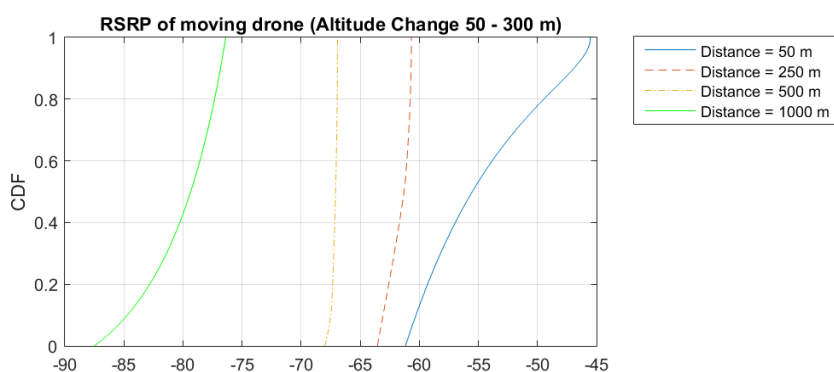
yang diambil sebagai sampel ialah: 50 m, 250 m, 500 m, 1000 m.

- Ketinggian *drone* tetap, dengan perubahan jarak dari 50 m sampai 1000 m.

Pertimbangan yang diambil dalam menentukan ketinggian maksimum ialah dari keterbatasan kemampuan dan juga perizinan untuk menerbangkan *drone* dengan ukuran

kecil atau sedang. Sedangkan pertimbangan jarak ialah, karena pada *open area* jarak antar site cukup jauh (lebih dari 1 km), maka setidaknya *drone* harus dapat terlayani dengan baik pada jarak 1000 m atau 1 km.

Hasil percobaan simulasi dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Fungsi Distribusi Kumulatif (CDF) untuk parameter *downlink* RSRP, dengan skenario perubahan altitude untuk jarak BTS – *drone* sebesar 50 hingga 1000 m



Gambar 3. Fungsi Distribusi Kumulatif untuk parameter *downlink* RSRP, dengan skenario perubahan jarak untuk ketinggian *drone* sebesar 50 hingga 300 m

Untuk menganalisis performansi dari konektivitas *drone*, kita akan melihat CDF dari RSRP pada skenario-skenario yang telah dijalankan. Pada jarak 50 m, dengan ketinggian 50 sampai 300 m,

performansi *drone* masih sangat baik karena memiliki RSRP dengan rentang dari -45 dBm hingga -62 dBm. Pada jarak 250 m dan 500 m, dengan kondisi di area rural, *drone* juga masih dapat

bekerja dengan baik dengan memiliki daya terima lebih kuat dari -70 dBm. Saat drone mencapai jarak 1000 m, probabilitas untuk memiliki daya lebih lemah dari -80 dBm ialah sebesar 40%. Namun kondisi tersebut masih dapat diklasifikasikan cukup baik karena drone masih memiliki daya lebih kuat dari -90 dBm.

Dengan ini maka dapat disimpulkan bahwa drone masih dapat berfungsi dengan sangat baik hingga jarak 500 m, dan cukup layak untuk dioperasikan pada jarak 1000 m.

Pada Gambar 3, dianalisis CDF dari dampak RSRP drone terhadap perubahan jarak, dengan ketinggian tetap. Terlihat pada ketinggian 50 m, 150 m, dan 300 m, performansi drone tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Namun, dengan ketinggian yang paling rendah yaitu 50 m, drone dapat mencapai daya terima yang paling baik pada kondisi tertentu, mencapai kemungkinan sebesar 15% untuk memiliki daya lebih kuat dari -55 dBm, sedangkan untuk ketinggian 150 hanya sekitar 10% kemungkinan untuk memiliki daya lebih kuat dari -55 dBm, dan pada ketinggian 300 m, hampir sekitar 1% kemungkinan untuk memiliki daya lebih kuat dari -60 dBm.

Pada ketinggian 50 m, ada kemungkinan bahwa dengan semakin jauhnya jarak, maka performansi akan menurun karena tidak selalu dalam kondisi *Line of Sight*. Sedangkan dengan *worst case* pada ketinggian 300 m, daya terima paling rendah hanya sekitar -73 dBm, dibandingkan pada 50 m daya terima paling rendah mencapai -87 dBm. Hal ini dikarenakan semakin tinggi drone, probabilitas LOS semakin tinggi dan memungkinkan untuk memiliki daya terima yang lebih baik.

B. Simulasi Interferensi

B.1 Interferensi *downlink*

Semakin tinggi posisi drone, maka drone dapat lebih mudah terdeteksi oleh BTS dari sel-sel tetangganya. Hal ini dikarenakan dengan menjauhnya jarak drone dengan sel utama yang melayani, maka daya terima akan semakin lemah, namun karena drone dapat terlihat oleh BTS sekitar, maka interferensi dapat meningkat, dan mengakibatkan SINR mengecil saat drone meninggikan posisinya dari BTS. Seperti terlihat pada Gambar 4.

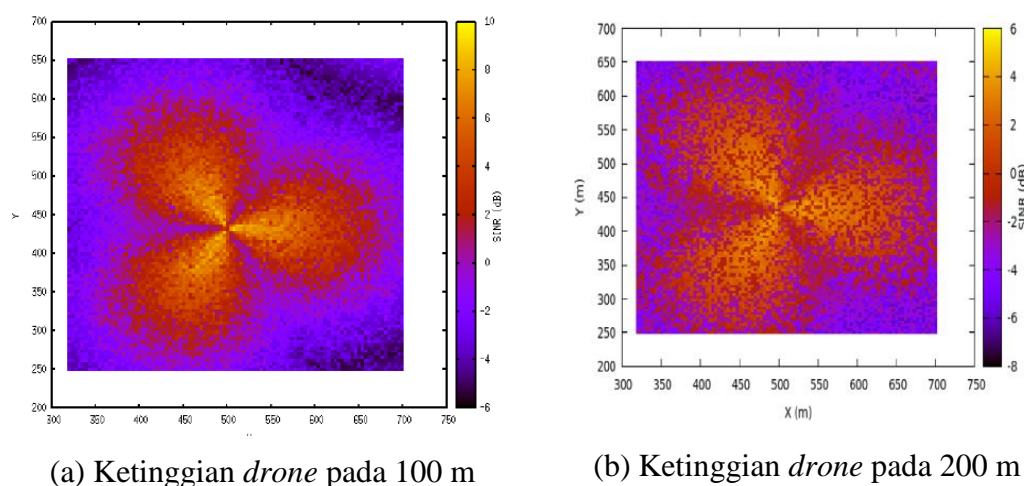
Pada Gambar 4a, saat ketinggian drone mencapai 100 m, SINR dapat mencapai hingga 10 dB khususnya saat posisi sangat dekat dengan BTS. Namun saat di ketinggian 200 m, nilai SINR hanya mencapai 6 dB, seperti terlihat pada Gambar 4b.

B.2 Interferensi *uplink*

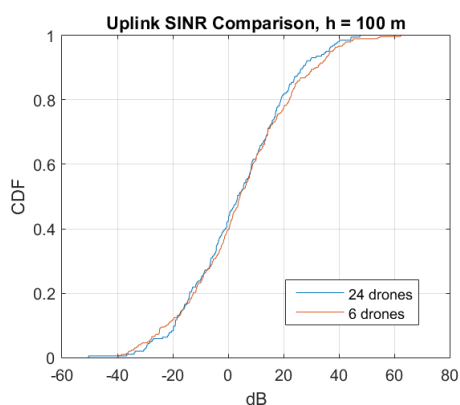
Dampak pengaruh jumlah drone dapat dilihat pada Gambar 5. Dari data rata-rata SINR milik ke-200 UE yang didapat, hanya sebesar 20% yang masuk ke dalam klasifikasi sangat baik. Namun hal itu tidak terpengaruh dari jumlah drone. Berbeda dengan kondisi di perkotaan, saat berada di rural, UE diasumsikan terhubung ke BTS dengan kondisi LOS, maka daya terima UE juga sudah cukup besar, baik dengan adanya drone atau tidak. Maka dapat disimpulkan, jumlah drone yang ada di jaringan LTE pada lingkungan rural tidak mempengaruhi performansi *uplink* dari UE yang berada di bawah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini mempelajari kelayakan konektivitas drone pada Jaringan LTE sebagai layanan 5G masa depan di daerah rural dengan menggunakan pendekatan simulasi di sistem NS-3. Maka dengan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:



Gambar 4. SINR Downlink drones pada perbedaan ketinggian



Gambar 5. SINR Uplink dengan Perbedaan Jumlah Drone

1. Parameter yang perlu diperhatikan ialah model *tilting* antena BTS yang umumnya melayani UE di bawah. Agar jaringan LTE dapat digunakan oleh *drone*, dianjurkan adanya perubahan *tilting* antena BTS agar *drone* dapat terlayani secara luas.
2. Uji konektivitas secara individu memberikan hasil yang cukup baik, dengan 60% data RSRP masih masuk ke klasifikasi sangat baik saat jarak *drone* dan BTS mencapai 1000 m di daerah rural.
3. Dengan adanya perubahan ketinggian *drone*, saat *drone* di posisi 200 m, *drone* mengalami penurunan SINR yang diakibatkan oleh terpaparnya interferensi dari sel

atau BTS yang lain. Dibandingkan dengan saat *drone* berada di posisi ketinggian 100 m.

4. Pada kondisi rural, performansi UE tidak terpengaruh secara signifikan dengan perubahan jumlah *drone*.

Disarankan untuk penelitian selanjutnya, dapat mengembangkan skenario seperti perbandingan dengan jumlah *drone* yang jauh lebih besar, atau dengan membandingkan kondisi di rural area dan urban area. Hal ini diharapkan dapat memberikan gambaran kelayakan pengaplikasian *drone* sebagai layanan untuk 5G di masa depan secara komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Members of the 5G Infrastructure Association, "5G Vision," *Electron. Publ.*, p. 16, 2015.
- [2] D. Floreano and R. J. Wood, "Science, technology and the future of small autonomous drones," *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 460–466, 2015.
- [3] M. Toh, "Alphabet drones will drop burritos into people's yards in Australia," *CNN*, 2017. [Online]. Available: <http://money.cnn.com/2017/10/17/technology/google-alphabet->

- drone-burrito-delivery/index.html.
- [4] Yang Yi, "Chinese e-commerce giant Alibaba's drones deliver packages to islands," *Xinhua Net*, 2017. [Online]. Available: Chinese e-commerce giant Alibaba's drones deliver packages to islands.
- [5] Matt McFarland, "Amazon makes its first drone delivery in the U.K.," *CNN*, 2016.
- [6] J. Scott and C. Scott, "Drone Delivery Models for Healthcare," *Proc. 50th Hawaii Int. Conf. Syst. Sci.*, pp. 3297–3304, 2017.
- [7] A. Guillen-Perez, R. Sanchez-Iborra, M. D. Cano, J. C. Sanchez-Aarnoutse, and J. Garcia-Haro, "WiFi networks on drones," *Proc. 2016 ITU Kaleidosc. Acad. Conf. ICTs a Sustain. World, ITU WT 2016*, no. November, 2017.
- [8] C. J. Katila, A. Di Gianni, C. Buratti, and R. Verdone, "Routing Protocols for Video Surveillance Drones in IEEE 802.11s Wireless Mesh Networks," 2017.
- [9] T. Vermeulen and S. Pollin, "Analysis of Harmful Interference to and from Aerial IEEE 802.11 Systems," *DroNet*, pp. 15–19, 2015.
- [10] B. Van Der Bergh, A. Chiumento, and S. Pollin, "LTE in the sky: Trading off propagation benefits with interference costs for aerial nodes," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 5, pp. 44–50, 2016.
- [11] L. Sundqvist, "Cellular Controlled Drone Experiment: Evaluation of Network Requirements," p. 25, 2015.
- [12] M. Zaki, "Paving the path to 5G: Optimizing commercial LTE networks for drone communication," *Qualcomm*. [Online]. Available: <https://www.qualcomm.com/news/onq/2016/09/06/paving-path-5g-optimizing-commercial-lte-networks-drone-communication>.
- [13] N. Hossein Motlagh, T. Taleb, and O. Arouk, "Low-Altitude Unmanned Aerial Vehicles-Based Internet of Things Services: Comprehensive Survey and Future Perspectives," *IEEE Internet Things J.*, vol. 3, no. 6, pp. 899–922, 2016.
- [14] ITU-R, "Characteristics of unmanned aircraft systems and spectrum requirements to support their safe operation in non-segregated airspace," *Rep. ITU-R*, vol. M.2171, 2009.
- [15] M. Peng, "System Architecture and Key Technologies for 5G Heterogeneous Cloud Radio Access Networks," *IEEE Netw.*, vol. 29, no. April, pp. 6–14, 2014.
- [16] N. H. Motlagh, M. Bagaa, and T. Taleb, "UAV-Based IoT Platform: A Crowd Surveillance Use Case," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 2, pp. 128–134, 2017.
- [17] Z. Qiu, X. Chu, C. Calvo-ramirez, C. Briso, and X. Yin, "Low Altitude UAV Air-to-Ground Channel Measurement and Modeling in Semiurban Environments," vol. 2017, 2017.