

Analisis Model kanal 5G terhadap Pengaruh Suhu dan Kelembaban pada Frekuensi 26 GHz dan 28 GHz di Jawa Timur

Luthfiah Arbiah Nasir ^{1*}, Hamzah U. Mustakim ², Arrizky Ayu Faradila Purnama ³

¹⁻³ Program Studi Teknik Telekomunikasi, Telkom University Surabaya, Surabaya, Indonesia

* Korespondensi : lluthfiahhh@student.telkomuniversity.ac.id

Received: 13 Februari 2024; Revised: 5 Maret 2024; Accepted: 15 Maret 2024

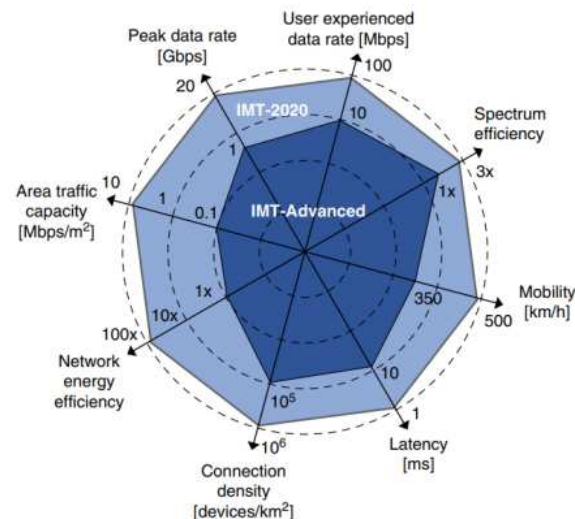
Abstrak: Perkembangan teknologi akan terus berkembang sehingga layanan telekomunikasi dijadikan sebagai kebutuhan utama. Untuk mendukung perkembangan revolusi industri 4.0, penggunaan 5G *New Radio* merupakan solusi yang tepat. Teknologi 5G *New Radio* dirancang lebih baik daripada teknologi 4G sebelumnya, terutama pada bagian pita frekuensi. Penggunaan frekuensi tinggi sangat sensitif dan terpengaruh oleh kondisi alam, seperti suhu dan kelembaban yang akan menimbulkan redaman pada perambatan gelombang. Penelitian ini dilakukan analisis terhadap dua variabel, yaitu variabel tetap dan variabel berubah pada Provinsi Jawa Timur. Variabel tetap meliputi frekuensi 26 GHz dan 28 GHz dengan *bandwidth* 100 MHz. Sedangkan variabel berubah meliputi suhu (suhu maksimum dan minimum) dan kelembaban (kelembaban maksimum dan minimum). Hasil yang didapatkan berdasarkan pengujian *delay spread* diantara ketiga lokasi penelitian, Kota Batu yang paling bagus. RMS delay yang dihasilkan yaitu 20 ns dan 32 ns, dengan daya terima simulasi sebesar -60,2 dBm. Sedangkan untuk kalkulasi *capacity channel* dan *bit rate* didapatkan Kabupaten Pasuruan memiliki hasil yang lebih bagus. Nilai *capacity channel* yang didapatkan sebesar 780,089 Mbps dan *bit rate* sebesar 78009 Mbps. Berdasarkan hasil tersebut dipengaruhi oleh besar frekuensi yang digunakan. Penggunaan frekuensi 26 GHz jauh lebih bagus karena menghasilkan nilai *delay* yang lebih kecil dengan kondisi skenario minimum.

Kata kunci: Teknologi 5G; Model Kanal; *Power Delay Profile*

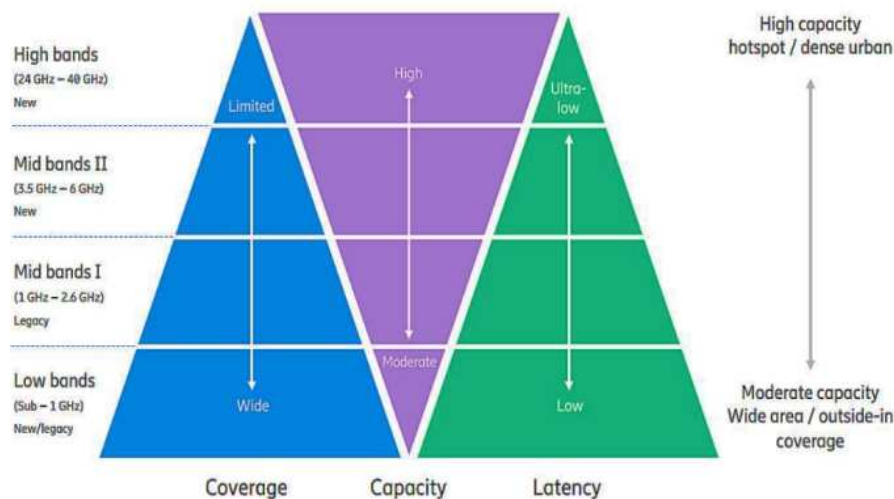
1. Pendahuluan

Seiring perkembangan zaman, layanan telekomunikasi menjadi kebutuhan utama. Teknologi baru yang dikenal sebagai 5G akan menawarkan semua aplikasi yang dibutuhkan dengan menghubungkan ke infrastruktur telekomunikasi saat ini dan hanya menggunakan satu perangkat *universal* [1]. Jaringan seluler 5G akan berupaya untuk menciptakan terminal *client* yang dapat mengakses beberapa teknologi seluler secara bersamaan dan mengkonsolidasikan berbagai cara dari berbagai teknologi. Teknologi 5G adalah pengembangan yang dapat terhubung ke semua perangkat, tidak hanya untuk telekomunikasi, dan 5G ini diantisipasi memiliki kecepatan tiga kali lebih cepat dari generasi sebelumnya. Sebagai perkembangan dari generasi berikutnya, penggunaan 5G diusulkan ketika jumlah *User Equipment* (UE) dan lonjakan *bandwidth* meningkat [2,3].

Layanan dan kebutuhan masa depan diperhitungkan saat merancang infrastruktur jaringan 5G. Secara kuantitatif, parameter kinerja teknologi 5G ditentukan oleh ITU-R (*International Telecommunication Union*) melalui IMT-2020 yang dapat dilihat pada Gambar 1 [2,4].



Gambar 1. Kemampuan Utama 5G menurut IMT Vision



Gambar 2. Spektrum Frekuensi 5G oleh Ericsson (2018) [7]

Teknologi 5G *New Radio* dioperasikan pada frekuensi tinggi antara 1 GHz – 100 GHz. Pada teknologi 5G ini, menurut Ericsson (2018) kandidat frekuensi dibagi menjadi 3 *band*, yaitu *low band* (<1 GHz), *middle band* (1 - 6 GHz) dan *high band* (24 – 49 GHz) [2] [5]. Desain untuk telekomunikasi yang beroperasi di kisaran 10 hingga 30 GHz. Frekuensi tersebut tergolong ke dalam level frekuensi tinggi, sehingga untuk mengimplementasikannya membutuhkan persiapan infrastruktur yang baik, terutama pada desain parameter berdasarkan model kanal. Model kanal adalah masalah utama dari 5G *New Radio*, dimana kapasitas (*per-link*) yang dihasilkan oleh sistem komunikasi nirkabel tergantung pada kanal tersebut, sehingga pemodelan kanal itu sangat penting [6].

Model kanal 5G di Indonesia berbeda dengan model saluran di negara lain karena kondisi kelembaban, suhu, dan cuaca yang unik di negara ini yang di mana disebabkan oleh fluktuasi kondisi atmosfer di tempat yang sama. Untuk menciptakan sistem komunikasi sebaik mungkin, sangat berguna untuk memahami dan menghitung model kanal dengan dampak suhu dan kelembaban pada propagasi mengingat bahwa Indonesia adalah negara tropis dengan suhu dan kelembaban yang terkadang sangat tinggi dan rendah [8]. Sebagai contoh, komunikasi nirkabel dalam *mmWave*/THz memiliki difraksi gelombang elektromagnetik yang signifikan karena panjang gelombang yang sangat kecil. Komunikasi nirkabel pada *band* ini sangat dipengaruhi oleh kebisingan penyerapan

molekul dan atenuasi. *Band* ini dipengaruhi oleh komposisi kimia medium dalam dua cara berbeda. Pertama, sinyal radio dilemahkan karena molekul dalam saluran menyerap energi dalam *band* frekuensi tertentu. Kedua, energi yang diserap ini dipancarkan kembali oleh molekul yang menciptakan kebisingan di saluran. Redaman dan kebisingan umumnya turun di tengah hari ketika suhu naik dan kelembaban turun, tetapi tetap tinggi pada malam hari. Akhirnya, karena tingkat keparahan penyerapan molekul juga sensitif terhadap suhu udara, setiap variasi suhu-kelembaban akan secara langsung mempengaruhi atenuasi dan kebisingan pada *band* frekuensi tinggi [9].

Kemudian perbedaan utama antara komunikasi nirkabel yang ada pada frekuensi yang lebih rendah dan *mmWave* adalah bahwa molekul air (H_2O) di udara, yang dapat menyerap energi sinyal pada tingkat yang sangat tinggi jika tereksitasi, memiliki frekuensi resonansi alami mereka dalam pita frekuensi tinggi. Ini berarti bahwa pita frekuensi tinggi sensitif terhadap jumlah air (kelembaban, lembab, atau hujan) di udara [8].

Berdasarkan data geografi dan iklim yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik – Provinsi Jawa Timur dalam angka 2023, daerah Jawa Timur memiliki rata-rata curah hujan sebesar 254,9 mm pada tahun 2022. Dilihat dari rata-rata curah hujan tersebut, daerah Jawa Timur termasuk kota dengan curah hujan cukup tinggi, sepanjang tahun 2022. Dengan golongan curah hujan cukup tinggi, kondisi suhu serta kelembaban pada daerah Jawa Timur dapat berubah-ubah. Rata-rata suhu di Provinsi Jawa Timur pada dua musim berkisar antara 14,6°C hingga 31,4°C, sedangkan untuk rata-rata kelembaban berkisar antara 34% dari 99% [10].

Berdasarkan desain telekomunikasi yang menggunakan *range* frekuensi tinggi, sangat amat memungkinkan penggunaan model kanal pada frekuensi tersebut dapat terganggu oleh perubahan faktor lingkungan seperti suhu dan kelembaban. Hal tersebut dapat mengakibatkan atenuasi atau redaman yang signifikan. Dari penjelasan tersebut, maka penulis mengusulkan judul penelitian “Analisis Model Kanal 5G terhadap Pengaruh Suhu dan Kelembaban pada Frekuensi 26 GHz dan 28 GHz di Jawa Timur”.

Penelitian ini akan menganalisis model kanal 5G pada beberapa daerah di Provinsi Jawa Timur dengan menggunakan nilai suhu maksimum dan minimum, serta kelembaban maksimum dan minimum menggunakan parameter berdasarkan data-data yang ada di lapangan. Model kanal dapat ditunjukkan dengan representatif PDP yang dimana menunjukkan daya rata-rata yang berkaitan dengan *multipath delay*. Untuk mendapatkan nilai representatif PDP, penulis menggunakan *New York University (NYU) Wireless Channel Simulator*.

2. Bahan dan Metode

Model Kanal

Kanal adalah media antara antenna pemancar dan antenna penerima. Penting untuk memodelkan saluran untuk membuat desain sistem komunikasi yang mengurangi kesalahan dan memaksimalkan transfer informasi atau *bit rate* [11]. Untuk memetakan sinyal model kanal ini dapat dinyatakan atau diwakili oleh *Power Delay Profile*, yang dimana PDP ini merupakan daya sinyal yg diterima dengan penundaan yang tepat. Berdasarkan *Power Delay Profile* tersebut dapat menunjukkan *power* rata-rata yang berkaitan dengan *multipath delay* yang berbeda [12][13].

Power Delay Profile (PDP) adalah intensitas dari sinyal yang diterima oleh *receiver* melalui *multipath channel* sebagai fungsi dari waktu *delay*. *Power delay profile* (PDP) merupakan faktor utama untuk menentukan kinerja sistem dari simulasi/pengukuran data. *Inter-Symbol Interference* (ISI) secara langsung berkaitan dengan fenomena *multipath* yang dihasilkan dari lingkungan (seperti kelembaban, suhu, dan tekanan udara) melalui saluran propagasi antara pemancar dan penerima [14][15].

Adapun langkah-langkah untuk merepresentasikan *Power Delay Profile* (PDP) dari model kanal 5G sebagai berikut [16][17]:

- 1) Mengubah PDPi pada dBm ke numerik, dimana i adalah angka indeks dari PDP.i = {1,2,3,..,K}. K merupakan banyaknya percobaan PDP.
- 2) Menggabungkan setiap α timeslot τ pada setiap PDPi kemudian ditempatkan menjadi timeslot l. Simbol α adalah *grouping index*. Pada penelitian ini mempertimbangkan $\alpha = 40$ dan l = 1,2,3,...,L, dimana L merupakan total dari τ pada PDPi dibagi dengan α .

$$\tau_{(l-1)\alpha+1}^{PDPi} = \frac{1}{\alpha} \cdot \sum_{n=(l-1)\alpha+1}^{l\alpha} \tau_n^{PDPi} \quad (1)$$

- 3) Menggabungkan tiap $\tau(l-1)\alpha+1$ dari seluruh PDPi lalu menghitung *Cumulative Distribution Function* (CDF).
- 4) Melakukan CDF sebesar 90% pada setiap $\tau(l-1)\alpha+1$ dari semua PDP untuk dijadikan representatif daya.
- 5) Melakukan *threshold* sebesar -140 dB dari PDP *representative*. Nilai *threshold* ini adalah nilai inialisasi atau asumsi sensitivitas *device* 5G di Indonesia pada waktu yang akan datang.

Delay Spread

Mean excess delay adalah momen pertama dari PDP yang dinormalisasi dengan daya sinyal rata-rata. Secara matematis *mean excess delay* dapat dihitung menggunakan Persamaan 2 [18].

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{k=0}^k P(\tau_k) \cdot \tau_k}{\sum_{k=0}^k P(\tau_k)} \quad (2)$$

Dimana $\bar{\tau}$ adalah *mean excess delay* (μs), $P(\tau_k)$ adalah daya normalisasi pada waktu τ_k (dBm), dan τ_k adalah waktu *delay* ke- k (μs)

Maximum excess delay merupakan rentang *delay* dari munculnya *impulse* pertama sampai dengan *impulse* terakhir pada PDP, dapat dihitung menggunakan Persamaan 3 [18].

$$\tau_d = \tau_{max} - \tau_0 \quad (3)$$

Dimana τ_d adalah *maximum excess delay* (μs), τ_{max} adalah *excess delay spread*, dan τ_0 adalah *first arriving signal*.

Root Main Square delay spread (RMS *delay spread*) adalah momen kedua dari PDP. RMS ini termasuk parameter penting yang dapat membantu mengatasi *multipath fading*. Apabila nilai RMS *delay spread* diperkecil, maka *intersymbol interference* menjadi lebih kecil. Hal tersebut dapat membuat *error rate* menjadi kecil dan *data rate* meningkat. RMS *delay spread* dapat dihitung menggunakan Persamaan 4 [18].

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\bar{\tau})^2} \quad (4)$$

Dengan

$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_{k=0}^k P(\tau_k) \cdot \tau_k^2}{\sum_{k=0}^k P(\tau_k)} \quad (5)$$

Dimana σ_{τ} adalah RMS *delay spread*, $\bar{\tau}$ adalah *mean excess delay*, dan $\overline{\tau^2}$ adalah momen kedua dari PDP

Capacity Channel

Kapasitas kanal (C) adalah salah satu parameter kinerja saluran nirkabel. Kapasitas saluran adalah jumlah informasi yang dapat ditransmisikan melalui saluran frekuensi, diukur dalam bit per detik per hertz (bps/Hz). Semakin besar kapasitasnya, maka akan semakin baik. Kapasitas kanal adalah informasi timbal balik maksimum dari pesan yang dikirim dan diterima, dimana probabilitas dari kesalahan mendekati nol jika rasio *coding rate* (R) kurang dari C. Kapasitas kanal dapat dinyatakan dalam Persamaan 6 [13][19],

$$C = B \cdot \log_2(1 + \gamma) \quad (6)$$

dimana B adalah *bandwidth* kanal (Hz) dan γ adalah rasio daya *signal-to-noise* pada kondisi cerah, mendung dan hujan.

Bit Rate

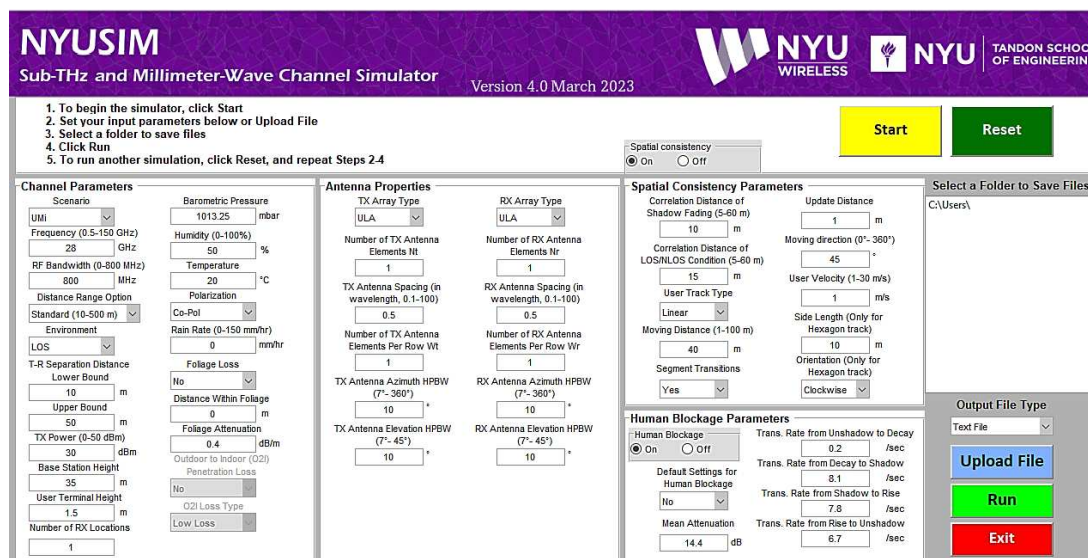
Bit rate adalah jumlah bit yang ditransmisikan dalam satu detik. Pada model kanal, *bit rate* adalah ukuran kecepatan pengiriman bit-bit sinyal dalam komunikasi digital dalam waktu 1 detik. Hubungan antara *bit rate* dan model kanal adalah bahwa *bit rate* mempengaruhi kinerja pada sistem komunikasi pada model kanal tertentu. Semakin tinggi *bit rate*, maka semakin banyak informasi yang ditransmisikan dalam satu detik, dan semakin besar kemungkinan terjadinya kesalahan transmisi.

Oleh karena itu, model kanal harus dirancang untuk meminimalkan kesalahan transmisi dan memastikan kualitas sinyal yang baik. sistem komunikasi yang baik harus mempertimbangkan *bit rate* dan model kanal untuk memastikan kinerja yang optimal. Adapun untuk perhitungan *bit rate* dapat dilihat pada Persamaan 7.

$$\text{Bit Rate} = C \times B \quad (7)$$

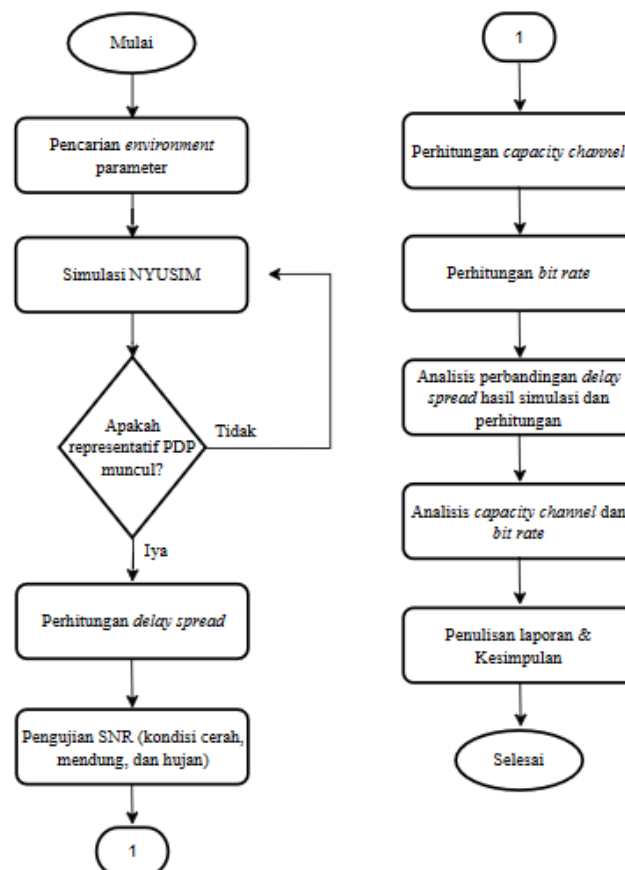
NYU Wireless Simulator

NYU Wireless simulator adalah salah satu aplikasi simulasi gelombang 5G berbasis Matlab yang dikembangkan oleh New York University. Aplikasi ini menghasilkan sejumlah *sample Channel Impulse Respon* (CIR) pada jarak tertentu antara pengirim (Tx) dan penerima (Rx), yang dimana jaraknya dapat diatur oleh pengguna. NYU Wireless simulator memiliki beberapa fitur yang dapat digunakan untuk mengatur atau mengkonfigurasi parameter yang akan digunakan. Kemudian hasil yang didapatkan pada saat penggunaan aplikasi ini berupa *instantaneous power delay profile* (PDP) yang terdiri dari daya dan *delay* pada setiap *path* [20].



Gambar 3. Tampilan aplikasi NYU wireless simulator

Alur Penelitian dan *Environment Parameter*



Gambar 4. Alur Penelitian

Lokasi penelitian berada pada Provinsi Jawa Timur tepatnya pada Kota Surabaya (Juanda), Kabupaten Pasuruan (Kec. Pandaan) dan Kota Batu (Desa Punten). Adapun beberapa data titik koordinat lokasi penelitian yang dibutuhkan yaitu koordinat garis lintang (*latitude*) dan koordinat garis bujur (*longitude*). Kedua koordinat tersebut didapatkan dengan menggunakan metode studi literatur melalui aplikasi *Google Earth*.

Pada penelitian ini melakukan implementasi *mmWave* 26 GHz dan 28 GHz dengan *bandwidth* sebesar 100 MHz untuk komunikasi seluler 5G di Provinsi Jawa Timur tepatnya pada Kota Surabaya (Juanda), Kabupaten Pasuruan (Kec. Pandaan) dan Kota Batu (Desa Punten), dengan empat skenario yaitu suhu maksimum, suhu minimum, kelembaban maksimum dan kelembaban minimum. Karena frekuensi *mmWave* dipengaruhi dengan kondisi alam seperti curah hujan, tekanan udara, kelembaban dan suhu udara, maka penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data parameter *environment* tersebut berdasarkan data statistik sektoral pada periode rata-rata 1 Januari 2023 hingga 30 September 2023 agar merepresentasikan kondisi alam yang sesungguhnya. Parameter *environment* akan menjadi inputan pada *channel parameters* pada simulator NYU *wireless simulator* yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Channel Parameters*

Parameter	Kota Surabaya	Kabupaten Pasuruan	Kota Batu
Suhu Maksimum	34.36°C	27.83°C	-
Suhu Minimum	22.2°C	17.94°C	20.13°C
Kelembaban Maksimum	95.4%	98.6%	98.4%
Kelembaban Minimum	50%	54.24%	67.7%
Curah Hujan	197.01 mm	324.65 mm	128.5 mm
Tekanan Udara	1010.84 Mbs	-	-

Tabel 2. Perancangan Pengujian

Lokasi	Input		Banyak Percobaan	Output
	Variabel Tetap	Variabel Berubah		
Kota Surabaya, Kabupaten Pasuruan, dan Kota Batu	26 GHz	$T_{\max}$	12 kali	Representatif PDP dan kinerja model kanal berdasarkan <i>capacity channel</i> dan <i>bit rate</i> .
	28 GHz	$H_{\max}$ $T_{\min}$ $H_{\min}$		

Perancangan Pengujian dan Metode Analisis Data

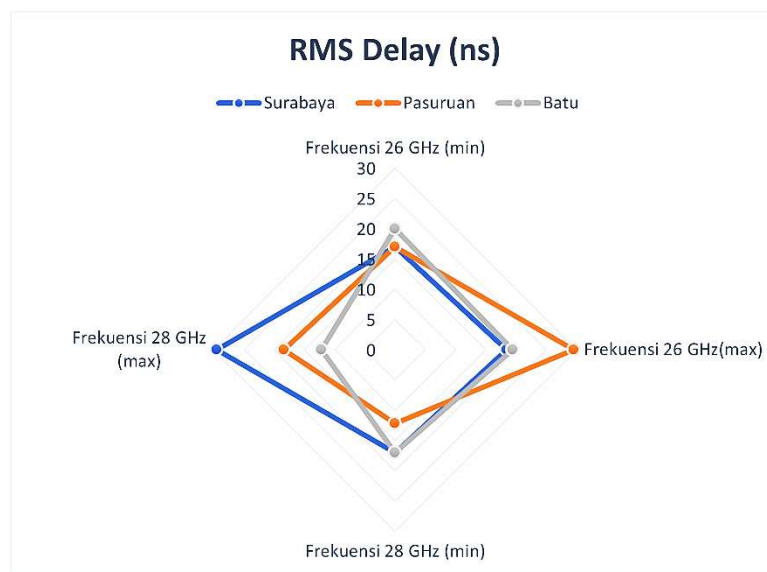
Pada pengujian ini terdapat 3 lokasi (Kota Surabaya, Kabupaten Pasuruan, dan Kota Batu), untuk inputan dari pengujian ini terdapat 2 variabel, yaitu frekuensi sebagai variabel tetap dan 4 skenario (kelembaban maksimum, kelembaban minimum, suhu maksimum, dan suhu minimum) sebagai variabel berubah. Total banyaknya percobaan yaitu 12 kali, dengan tiga lokasi, dimana masing-masing lokasi dilakukan 4 kali percobaan untuk dua variabel tetap, dan empat variabel berubah.

Metode dalam menganalisis data, yaitu dilakukan perbandingan hasil representatif PDP antara frekuensi 26 GHz dan 28 GHz yang didapatkan dari simulasi pada aplikasi NYUSIM. Setelah melakukan tahapan pengujian pada aplikasi NYUSIM, maka representatif PDP yang dihasilkan berdasarkan sampel yang dimasukkan akan dilihat perbandingannya. Kemudian, untuk validasi *outage performance* dapat dilihat dari analisis kinerja model kanal berdasarkan *capacity channel* dan bit rate yang didapatkan dari perhitungan manual. Berdasarkan dari analisis tersebut akan disimpulkan pada ketiga lokasi tersebut untuk penggunaan model kanal 5G, frekuensi manakah yang bagus dan

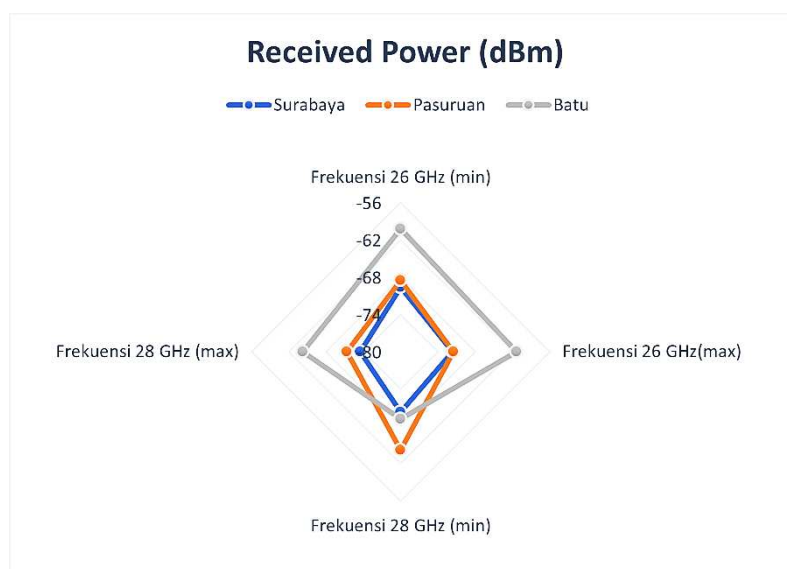
apakah besar kecilnya suhu dan kelembaban dapat mempengaruhi kinerja performansi dari model kanal 5G atau tidak.

3. Hasil dan Diskusi

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan menggunakan aplikasi NYU *Wireless simulator*, didapatkan nilai hasil pengukuran untuk masing-masing tempat penelitian dengan kondisi yang berbeda-itu nilainya berbeda juga. Dapat dilihat pada grafik Gambar 5 dan Gambar 6 tersebut menunjukkan hasil simulasi pada ketiga lokasi pada frekuensi 26 GHz dan 28 GHz, serta dalam kondisi minimum dan maksimum. Dapat dianalisis bahwa dari keempat grafik tersebut Kota Batu memiliki hasil yang cukup bagus, karena nilai RMS *delay* yang didapatkan tidak terlalu besar dan daya terima yang didapatkan juga jauh lebih besar dibandingkan Kota Surabaya dan Kabupaten Pasuruan.



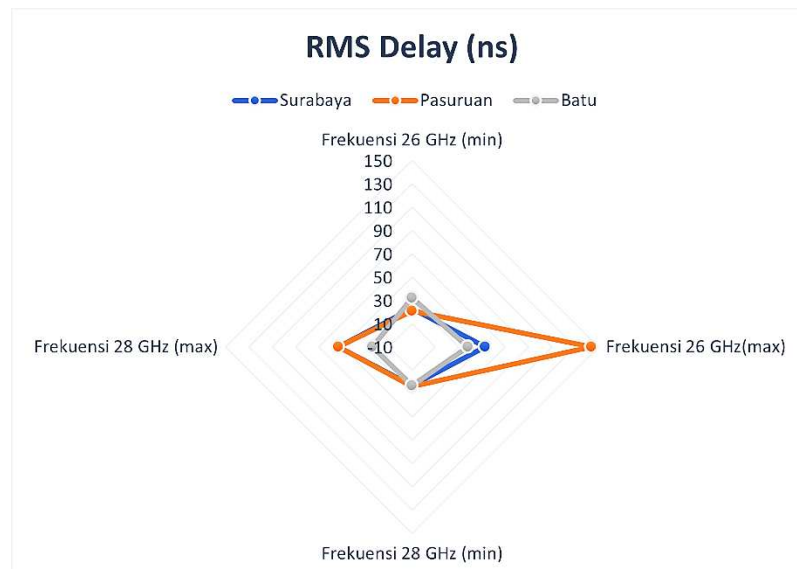
Gambar 5. Grafik RMS *Delay* Simulasi Frekuensi 26 GHz dan 28 GHz



Gambar 6. Grafik *Received Power* Simulasi Frekuensi 26 GHz dan 28 GHz

Pada Gambar 7 menunjukkan grafik hasil perhitungan manual. Jika dibandingkan dengan grafik hasil simulasi sangat jauh berbeda untuk besaran nilainya pada kondisi maksimum. Pada kondisi

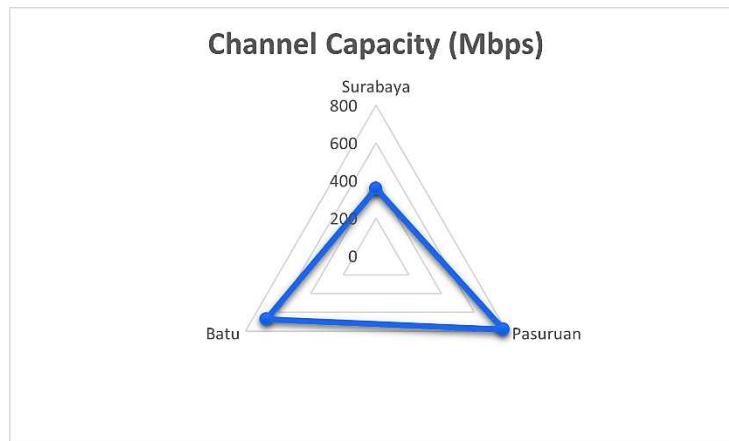
minimum yang ditunjukkan pada grafik masih dapat dikatakan bagus karena nilai *RMS delay* yang didapatkan tidak terlalu besar, sedangkan disaat kondisi maksimum pada frekuensi 26 GHz dan 28 GHz nilai *RMS delay* yang didapatkan sangat besar. Besarnya nilai dari *RMS delay* ini dapat menyebabkan ISI (*Inter-Symbol Interference*). Akan tetapi dari hasil grafik, Kota Batu dapat dikatakan cukup bagus dibandingkan dengan kedua lokasi penelitian lainnya, karena hasil yang didapatkan bernilai tidak terlalu besar yaitu pada frekuensi 26 GHz kondisi minimum sebesar 32 ns dan kondisi maksimum sebesar 38 ns, sedangkan pada frekuensi 28 GHz kondisi minimum sebesar 23 ns dan kondisi maksimum sebesar 24 ns.



Gambar 7. Grafik RMS Delay Kalkulasi Frekuensi 26 GHz dan 28 GHz

RMS delay dibutuhkan nilai yang rendah untuk kapasitas kanal yang lebih tinggi, karena hal tersebut menunjukkan bahwa kanal memiliki distorsi waktu yang lebih rendah. Akan tetapi *RMS delay* dengan nilai terlalu rendah juga dapat menyebabkan masalah, seperti efek *doppler* yang lebih besar, penurunan kualitas sinyal dan peningkatan sensitivitas terhadap interferensi koheren. Jadi, nilai *RMS delay* yang optimal adalah sesuai dengan durasi simbol sinyal yang ditransmisikan, sehingga menghindari ISI (*Inter-Symbol Interference*) dan memaksimalkan kapasitas saluran. Apabila didapatkan nilai *RMS delay* yang besar dan menimbulkan ISI maka cara untuk mengurangnya adalah dengan menggunakan teknik equalisasi, seperti memasang *adaptive equalizer* pada sisi *receiver*. Sedangkan untuk daya terima, semakin besar daya yang diterima maka akan semakin bagus kinerja model kanal tersebut dan akan lebih optimal.

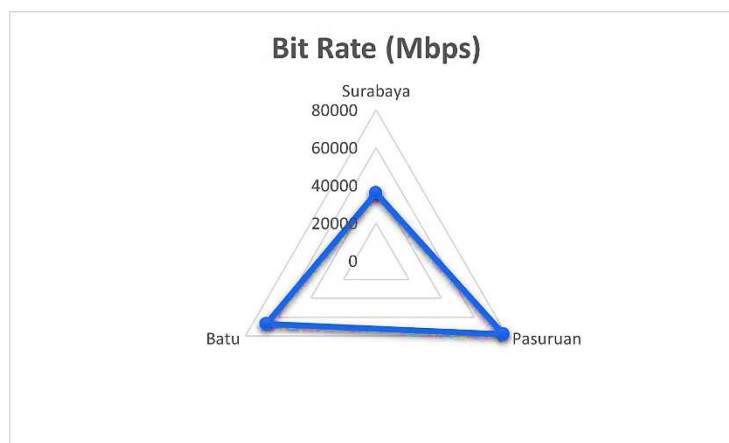
Selanjutnya, analisis mengenai *channel capacity* harus diketahui dahulu bahwa semakin besar informasi yang ingin ditransmisikan maka semakin besar pula kapasitas kanal yang dibutuhkan. Kapasitas kanal yang besar juga dapat membantu untuk mentoleransi kesalahan. Pada Gambar 8, kapasitas kanal pada Kabupaten Pasuruan lebih besar dibandingkan dengan Kota Surabaya dan Kota Batu. Hal tersebut dipengaruhi oleh nilai SNR yang didapatkan saat pengujian *power strength* dan nilai SNR juga dipengaruhi oleh banyak faktor dua diantaranya adalah kekuatan sinyal dan kondisi lingkungan. Nilai SNR yang didapatkan saat pengujian pada Kabupaten Pasuruan 222 dB, Kota Surabaya 11 dB, dan Kota Batu 104 dB.



Gambar 8. Grafik Hasil Kalkulasi *Channel Capacity*

Semakin besar informasi yang dibutuhkan dengan kesalahan yang kecil maka semakin besar pula SNR yang dibutuhkan. Jadi dapat dikatakan bahwa, dengan besarnya nilai SNR tersebut sesuai dengan besarnya kapasitas kanal yang digunakan. Besar kecilnya kapasitas kanal tergantung dengan jumlah informasi dan SNR yang dibutuhkan. Berdasarkan hal tersebut, bisa berkaitan juga dengan kondisi cuaca. Nilai SNR yang dihasilkan dari pengujian dapat berubah-ubah sesuai dengan kondisi cuaca, sehingga dapat mempengaruhi besar kecilnya nilai dari kapasitas kanal. Penggunaan frekuensi tinggi untuk 5G mengakibatkan rentan terhadap cuaca. Semakin tinggi suhu maka nilai SNR yang dihasilkan akan semakin kecil dikarenakan adanya hambatan konduktor. Selain suhu, curah hujan juga dapat mempengaruhi nilai SNR yang dihasilkan.

Kemudian, analisis mengenai *bit rate* harus diketahui juga terlebih dulu bahwa *bit rate* ini juga dapat mempengaruhi model kanal. Semakin tinggi *bit rate*, maka semakin besar kemungkinan kemungkinan terjadi kesalahan transmisi. Oleh karena itu, untuk perancangan kapasitas kanal harus meminimalkan kesalahan transmisi dan memastikan kualitas sinyal. Jadi, antara *bit rate* dan kapasitas kanal ini saling berkaitan. Pemilihan model kanal harus dilakukan dengan baik agar tidak mempengaruhi kualitas sinyal dan tidak menyebabkan kesalahan bit atau *bit error*. Jadi, semakin besar kapasitas kanal maka *bit rate* atau bit yang ditransmisikan juga bisa lebih besar. Dari analisis sebelumnya mengenai kapasitas kanal, didapatkan Kabupaten Pasuruan memiliki nilai kapasitas kanal yang paling besar. Hal tersebut membuat nilai bit yang dapat ditransmisikan di Kabupaten Pasuruan ini jadi lebih besar dengan nilai 78009 Mbps, dibandingkan dengan Kota Surabaya 35849,63 Mbps dan Kota Batu 67142,46 Mbps.



Gambar 9. Grafik Hasil Kalkulasi *Bit Rate*

Berdasarkan analisis tersebut, perbedaan hasil yang didapatkan tergantung dari kondisi cuaca yang ada di lokasi tersebut, seperti Kota Surabaya yang panas, Kota Batu yang dingin dan Kabupaten Pasuruan yang berada diantara keduanya, tidak terlalu dingin dan tidak terlalu panas. Kondisi cuaca tersebut juga bisa dipengaruhi dari kontur bumi, jadi Kota Surabaya yang berada di dataran rendah akan jauh lebih panas dibandingkan dengan Kota Batu yang berada di dataran tinggi. Pada Kota Surabaya tepatnya kecamatan semampir terletak pada ketinggian 6 mdpl, Kota Pasuruan tepatnya kecamatan Pandaan terletak pada ketinggian 100-500 mdpl, dan Kota Batu tepatnya pada kecamatan Bumiaji desa Punten terletak pada ketinggian 950 mdpl.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pengujian *delay spread* simulasi dan perhitungan manual, diantara ketiga lokasi penelitian, Kota Batu yang paling bagus karena memiliki nilai RMS *delay* yang kecil dan daya yang diterima lebih besar dibandingkan dengan kedua lokasi penelitian lainnya. Kemudian *outage performance* dapat dilihat dari *channel capacity* dan *bit rate*. *Channel capacity* pada Kabupaten Pasuruan lebih bagus dibandingkan dengan kedua lokasi penelitian lainnya, dengan nilai SNR 222 dB dan kapasitas saluran sebesar 780,089 Mbps, sedangkan *bit rate* Kabupaten Pasuruan lebih bagus dibandingkan dengan kedua lokasi lainnya, karena kapasitas saluran yang dimiliki juga bernilai besar sehingga *bit rate* yang dapat ditransmisikan juga bisa lebih besar, yaitu 78009 Mbps. Sebagai bahan perbandingan, penggunaan frekuensi 26 GHz pada penelitian ini lebih bagus dibandingkan dengan frekuensi 28 GHz, hal tersebut dikarenakan nilai *delay* yang didapatkan jauh lebih kecil. Kemudian kondisi lingkungan dan kondisi cuaca juga sangat amat berpengaruh pada penelitian ini. Dengan menggunakan frekuensi yang tinggi, maka besar kemungkinan terjadinya interferensi yang disebabkan oleh kondisi alam. Sehingga untuk penggunaan skenario pada kondisi cuaca, skenario minimum mendapatkan hasil jauh lebih bagus dibandingkan dengan skenario maksimum.

Referensi

- [1] K. NI'AMAH, S. NURJANAH, and A. R. DANISYA, "Model Kanal 5G Frekuensi 28 GHz dengan Pengaruh Suhu di Kota Yogyakarta," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 8, no. 2, p. 276, 2020, doi: 10.26760/elkomika.v8i2.276.
- [2] H. U. Mustakim, "Tantangan Implementasi 5G di Indonesia," *INTEGER J. Inf. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–10, 2019, doi: 10.31284/j.integer.2019.v4i2.561.
- [3] D. M. Hidayatulloh, "Perkembangan Teknologi 5G," *Univ. Pendidik. Indones.*, vol. 1, no. 1, pp. 2–5, 2021, doi: 10.13140/RG.2.2.19061.81127.
- [4] R. N. Esa, A. Hikmaturokhman, and A. R. Danisya, "5G NR Planning at Frequency 3.5 GHz : Study Case in Indonesia Industrial Area," *Proceeding - 2020 2nd Int. Conf. Ind. Electr. Electron. ICIEE 2020*, no. January, pp. 187–193, 2020, doi: 10.1109/ICIEE49813.2020.9277427.
- [5] R. D. WAHYUNINGRUM, K. NI'AMAH, and S. LARASATI, "Model Kanal 5G dengan Pengaruh Kelembapan pada Frekuensi 3,3 GHz dan Bandwidth 99 MHz Berbasis Convolutional Codes," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 9, no. 4, p. 878, Oct. 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i4.878.
- [6] R. Febriliana, "Teknologi 5G," no. January, pp. 7–9, 2021.
- [7] Ericsson, "5G Deployment Considerations".
- [8] M. N. Rahman, K. Anwar, and L. O. Nur, "Indonesia 5G Channel Model Considering Temperature Effects at 28 GHz," *3rd Symp. Futur. Telecommun. Technol. SOFTT 2019*, vol. 1, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/SOFTT48120.2019.9068606.
- [9] E. D. Wardihani, H. W. Astuti, A. Suharjono, and S. Pramono, "Performance of 5G-NR under Semarang Channel Model," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1096, no. 1, p. 012078, Mar. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1096/1/012078.
- [10] Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur, "Provinsi Jawa Timur Dalam Angka 2022," 2022.
- [11] K. Anwar, E. Christy, and R. P. Astuti, "Indonesia 5G Channel Model Under Foliage Effect [Model Kanal 5G Indonesia dengan Pengaruh Dedaunan]," *Bul. Pos dan Telekomun.*, vol. 17, no. 2, p. 75, 2019, doi: 10.17933/bpostel.2019.170201.
- [12] S. P. Syafiqulamin, "MODEL KANAL 5G FREKUENSI 28 GHZ DENGAN PENGARUH SUHU DI KOTA

- JAKARTA," 2021.
- [13] D. Version, *Aalborg Universitet Channel Characterization and Modeling for Future Wireless Communication Systems Zhang*, Guojin Publication date : 2023.
 - [14] I. Rahayu and A. Firdausi, "5G Channel Model for Frequencies 28 GHz, 73 GHz and 4 GHz with Influence of Temperature in Bandung," *J. Teknol. Elektro*, vol. 13, no. 2, p. 94, 2022, doi: 10.22441/jte.2022.v13i2.006.
 - [15] R. Baihaqi, K. Anwar, and R. Astuti, "Barometric Pressure Effect on 5G Channel Model Validated using Convolutional Codes," pp. 10–17, 2020, doi: 10.4108/eai.11-7-2019.2298020.
 - [16] H. Suwoyo, Y. Tian, W. Wang, M. M. Hossain, and L. Li, "HUMIDITY EFFECT TO 5G PERFORMANCES UNDER PALEMBANGCHANNEL MODEL AT 28 GHZ," *SINERGI*, vol. 24, no. 1, p. 37, Dec. 2019, doi: 10.22441/sinergi.2020.1.006.
 - [17] E. Christy, R. P. Astuti, and K. Anwar, "Telkom University 5G Channel Models under Foliage Effect and Their Performance Evaluations," *Proceeding - 2018 Int. Conf. ICT Rural Dev. Rural Dev. through ICT Concept, Des. Implic. IC-ICTRuDEv 2018*, no. March 2020, pp. 29–34, 2018, doi: 10.1109/ICICTR.2018.8706848.
 - [18] S. Nurjanah, "Analisis Performansi Mmwave Frekuensi 28 GHz 16 QAM OFDM dengan Pengaruh Suhu di Kota Yogyakarta," *ejournal Inst. Teknol. Telkom Purwokerto*, p. 17101030, 2019.
 - [19] M. E. Alfaroby, N. M. Adriansyah, and K. Anwar, "Study on Channel Model for Indonesia 5G Networks," pp. 125–130, 2018.
 - [20] K. Ni'amah, R. D. Wahyuningrum, and S. Larasati, "Broadband Channel Based on Polar Codes At 2.3 GHz Frequency for 5G Networks in Digitalization Era," *J. Informatics Telecommun. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 247–257, 2022, doi: 10.31289/jite.v6i1.7310.



© 2019 oleh penulis. Dikirim untuk kemungkinan publikasi akses terbuka di bawah syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).