

Model Kanal 5G Frekuensi 28 GHz dengan Pengaruh Suhu di Kota Yogyakarta

KHOIRUN NI'AMAH, SHELLY NURJANAH, ACHMAD RIZAL DANISYA

Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi Institut Teknologi Telkom Purwokerto
Email: irun@ittelkom-pwt.ac.id

Received 29 November 2019 | *Revised* 3 Februari 2020 | *Accepted* 2 Mei 2020

ABSTRAK

Penelitian ini melakukan pengujian pada model kanal 5G di jaringan masa depan. Karakteristik model kanal sangat mempengaruhi performansi jaringan pada penggunaan frekuensi mmWave di atas 6 GHz yang sensitif terhadap pengaruh alam. Oleh karena itu perlu untuk mengetahui karakteristik kanal agar menghasilkan performansi yang optimal. Evaluasi kerja pada penelitian ini menggunakan frekuensi 28 GHz, modulasi 16-QAM, bandwidth 50 MHz dan CP-OFDM. Hasil penelitian menunjukkan perbandingan model kanal 5G untuk mendapatkan outage probability sebesar 10^{-4} pada suhu maksimum dan minimum sehingga didapatkan E_b/N_0 yang dibutuhkan untuk coding rate 1:2 adalah 17,26 dB dan 15,25 dB, coding rate 3:4 adalah 19,53 dB dan 17,45 dB dan coding rate 1 adalah 22,11 dB dan 19,82 dB. Hal ini menunjukkan bahwa suhu mempengaruhi performansi sistem komunikasi pada 5G dan menunjukkan bahwa dengan coding rate setengah lebih efisien dalam kualitas dan kapasitas kanal.

Kata kunci: 5G, Model Kanal, Suhu, 28 MHz, CP-OFDM

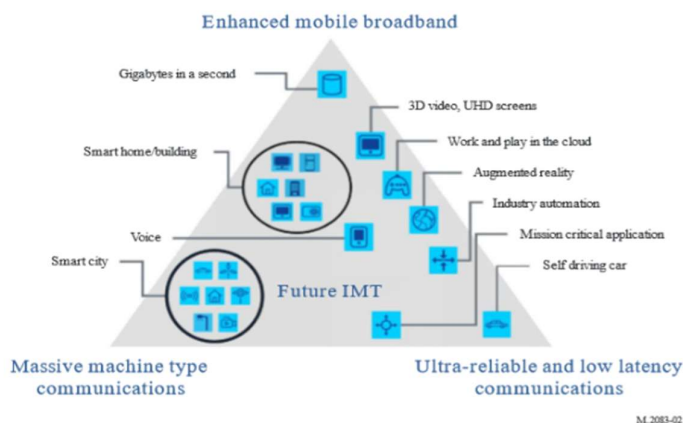
ABSTRACT

This research is testing the 5G channel model in the future network. The characteristics of the channel model greatly affect network performance in the use of mmWave frequencies above 6 GHz which are sensitive to natural influences. Therefore it is necessary to know the characteristics of the channel in order to produce optimal performance. The work evaluation in this study uses 28 GHz frequency, 16-QAM modulation, 50 MHz bandwidth and CP-OFDM. The results showed a comparison of the 5G channel model to get an outage probability of 10^{-4} at maximum and minimum temperatures so that the E_b / N_0 needed for coding rate 1:2 was 17.26 dB and 15.25 dB, coding rate 3:4 was 19.53 dB and 17.45 dB and coding rate 1 are 22.11 dB and 19.82 dB. This shows that the temperature affects the communication system performance at 5G and shows that with coding rate $\frac{1}{2}$ and the minimum temperature is more efficient in the quality and capacity of the channel.

Keywords: 5G, Channel Model, Temperature, 28 MHz, CP-OFDM

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi terus berkembang dari masa ke masa dan menjadikan layanan telekomunikasi sebagai kebutuhan utama. Teknologi 5G yang akan dirilis pada tahun 2020 diharapkan mampu melayani kebutuhan masyarakat mendapatkan akses informasi yang sangat cepat untuk membantu aktivitas dan meningkatkan kualitas hidup manusia. 5G dirancang untuk mendukung berbagai persyaratan yang terkait dengan penggunaan skenario mencakup segitiga *usage scenario International Telecommunication Union (ITU)* yang terdiri dari *enhanced mobile broadband (eMBB)*, *ultra-reliable and low latency communications (URLLC)*, dan *massive machine type communications (mMTC)* (ITU-R, 2015). Dalam implementasi 5G membutuhkan persiapan dengan baik infrastruktur yang akan digunakan, terutama desain parameter berdasarkan *channel model*. *Channel model* merupakan bagian terpenting dari sistem komunikasi nirkabel, karena kapasitas (per-link) bergantung pada *channels* (Alfaroby, dkk, 2018).



Gambar 1. Usage Scenarios of IMT for 2020 And Beyond (ITU-R, 2015)

5G dirancang pada pita frekuensi yang lebih tinggi dari sistem 4G, dengan frekuensi di atas 6 GHz. Komunikasi nirkabel di gelombang *millimeter-wave (mmWave)* telah dianggap sebagai teknologi kunci 5G yang menarik, dapat memberikan *multi-gigabit-per-second throughput* transmisi dan kapasitas data besar untuk berbagai layanan multimedia (Li, 2018). Penggunaan frekuensi *mmWave* di atas 6 GHz sensitif terhadap pengaruh alam, faktor yang sangat mempengaruhi redaman pada frekuensi tinggi antara lain suhu, dedaunan, curah hujan dan kelembapan (Rahman & Anwar, 2018). Di Indonesia kondisi alam dan lingkungan dianggap unik karena terjadi perubahan atmosfer di tempat yang sama, menyebabkan *channel model* 5G di Indonesia berbeda dari *channel model* di negara lain. Untuk memprediksi karakteristik propagasi kanal *mmWave* berdasarkan keadaan alam diperlukan karena dapat memprediksi kehandalan 5G di Indonesia secara teori melalui perhitungan *Power Delay Profile* PDP yang diolah berdasarkan prinsip informasi, sehingga dapat menentukan pengaturan modulasi, *coding rate* dan frekuensi kerja yang baik untuk mendapat sistem komunikasi yang optimal (Alfaroby, dkk, 2018).

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan terhadap 5G *channel model* di Kota Yogyakarta dengan menggunakan pengaruh suhu minimum dan suhu maksimum dengan menggunakan parameter berdasarkan data di lapangan. *Channel model* dapat ditunjukkan dengan *Power Delay Profile* (PDP) yang menunjukkan daya rata-rata yang berkaitan dengan *multipath delay* dengan data yang disajikan adalah kapasitas kanal dan *outage performance*. Saluran dapat mengalami *multipath* akibat adanya refleksi (*reflection*), pembiasan (*refraction*), hamburan

(*scattering*), dan penyaluran (*ducting*) sehingga menyebabkan interferensi (Wang, dkk, 2018). Kapasitas kanal dan *outage probability* masing-masing dihitung menggunakan konsep *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) dengan blok yang cukup panjang (sehingga efek *loss* dari *cyclic prefix* dapat diabaikan) (Alfaroby, 2018). Performansi dan kapasitas dari suatu sistem komunikasi tergantung pada kanal, termasuk OFDM. Kanal merupakan media di antara antena pengirim (*transmitter*) dan antena penerima (*receiver*) yang harus dimodelkan (Rappaport, dkk, 2018). OFDM banyak digunakan untuk sistem komunikasi seluler dikarenakan OFDM memiliki kemampuan untuk mengatasi *multipath fading* yang sering menyebabkan terjadinya *Inter-Symbol Interference* (ISI) dan *Inter-Carrier Interference* (ICI) pada saat transmisi (Wu, dkk, 2016).

Cumulative Distribution Function (CDF) dari kapasitas kanal dihitung dengan sampel yang cukup banyak untuk dievaluasi peluang kapasitas 5G tersebut jatuh di bawah *channel coding rate* yang kemudian disebut sebagai *outage probability*. Sedangkan untuk mendapatkan representatif PDP menggunakan *New York University* (NYU) *Wireless channel simulator* atau NYUSIM v1.5 dan penelitian ini melakukan perhitungan dan simulasi *channel model* menggunakan matlab 2018a pada frekuensi *mmWave* 28 GHz, modulasi 16 QAM dan *bandwidth* 50 MHz. Pemodelan kanal 5G Indonesia menggunakan *software* NYUSIM *Channel Simulator* sudah divalidasi oleh *New York University* dan digunakan untuk memodelkan kanal dengan frekuensi tinggi (Sun, dkk, 2017). Penelitian ini menggunakan PDP yang didapat untuk menghitung kapasitas *Shannon* untuk memperoleh teori kinerja 5G Indonesia (Christy, dkk, 2019).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

2.1 Environment Parameter

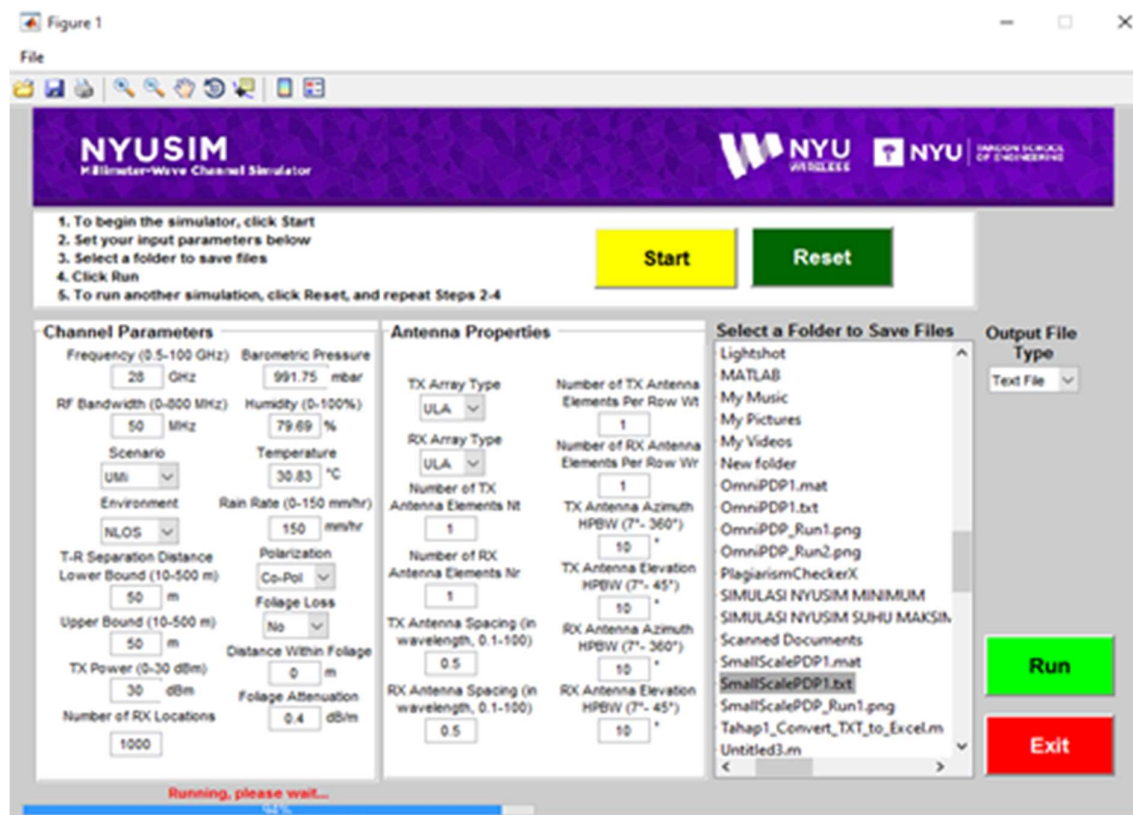
Pada penelitian ini melakukan unjuk kerja implementasi *mmWave* 28 GHz dengan *bandwidth* 50 MHz berdasarkan *numerology* OFDM untuk komunikasi seluler 5G di Kota Yogyakarta dengan dua skenario yaitu terhadap pengaruh suhu maksimum dan pengaruh suhu minimum. Penggunaan frekuensi *mmWave* sensitif terhadap pengaruh alam seperti suhu, tekanan udara, curah hujan dan kelembapan. Penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data parameter *environment* berdasarkan data Badan Meterologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) dengan rentang waktu 1 tahun yang dihitung dari bulan April 2018 – April 2019 yang kemudian dirata-rata nilainya agar merepresentasikan kondisi alam yang sesungguhnya. Parameter *environment* akan menjadi *input* pada *channel* parameters pada simulator NYUSIM.

Tabel 1. Parameter Data Cuaca Kota Yogyakarta

Parameter	Nilai
Suhu Maksimum	30,83 °C
Suhu Minimum	22,53 °C
Tekanan Udara	991,75 mbar
Kelembapan Udara	79,69 %
Curah Hujan	150 mm/h

2.2 Simulasi NYUSIM

Pada tahap ini melakukan simulasi *channel model* menggunakan NYUSIM dengan menggunakan pengaruh suhu minimum dan suhu maksimum. Data masukan dari NYUSIM menggunakan data parameter yang didapat dari BMKG Yogyakarta. *Output* yang digunakan pada *file type* adalah *text file* dan yang akan dijadikan pembahasan adalah *omnidirectional Power Delay Profile* (PDP). Hasil dari simulasi ini akan menghasilkan *instantaneous* PDP.

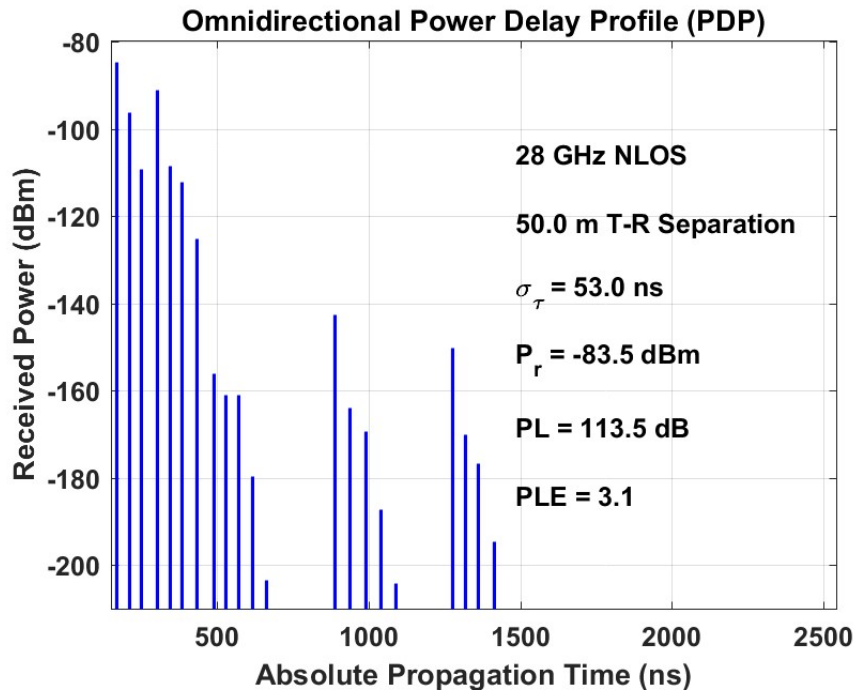


Gambar 2. Tampilan NYUSIM v1.5

Gambar 2 merupakan tampilan dari NYUSIM v1.5 untuk memasukkan parameter-parameter pendukung agar menghasilkan *instantaneous* model kanal 5G. Parameter-parameter yang dapat diubah dalam NYUSIM untuk mendapatkan hasil yang baik adalah *bandwidth*, daya pancar, frekuensi, skenario dan jarak antara sisi pemancar dan penerima.

2.3 Instantaneous PDP

Instantaneous PDP dari *channel model* Kota Yogyakarta dengan dua skenario simulasi menggunakan suhu maksimum 30,83 °C dan suhu minimum 22,53 °C dengan masing-masing percobaan 1000 *receiver* sehingga didapat 1000 *instantaneous* PDP dikarenakan nilai *channel* akan berubah-ubah terhadap waktu untuk perhitungan *capacity* dari *channel* (GSM, 2018). Berdasarkan simulasi *channel model* menggunakan NYUSIM didapatkan hasil *Instantaneous* PDP pada sumbu x adalah *delay* (ns) pada tiap *path* dan sumbu y merupakan daya (dBm).



Gambar 3. Instantaneous PDP

Gambar 3 merupakan *output* yang didapat dari simulasi NYUSIM berupa *instantaneous* PDP yang terdiri dari *power* dan *delay* untuk tiap *path* dengan *thresholding* sebesar -140 dBm.

2.4 Representatif PDP

Untuk mendapatkan representatif PDP dari *channel model* kota Yogyakarta menggunakan *instantaneous* PDP dari hasil simulasi terhadap redaman suhu maksimum dan suhu minimum. Berikut langkah-langkah yang dilakukan dalam mempresentasikan PDP (Christy, 2019):

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

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

3. Menggabungkan tiap $\tau(l-1).\alpha+1$ dari seluruh PDP_i dan menghitung CDF.
4. Menghitung CDF persentil ke-90 disetiap $\tau(l-1).\alpha+1$ dari seluruh PDP_i sebagai representatif PDP. Hal tersebut dikarenakan lebih banyak data dengan nilai yang kecil dan dianggap tepat untuk memilih data yang representatif bagi 1000 PDP
5. Melakukan *thresholding* sebesar -140 dBm untuk $\tau(l-1).\alpha+1$ dari representatif PDP sebagai asumsi sensitivitas *device* 5G di Indonesia pada waktu mendatang.

2.5 Perhitungan *Outage Performance*

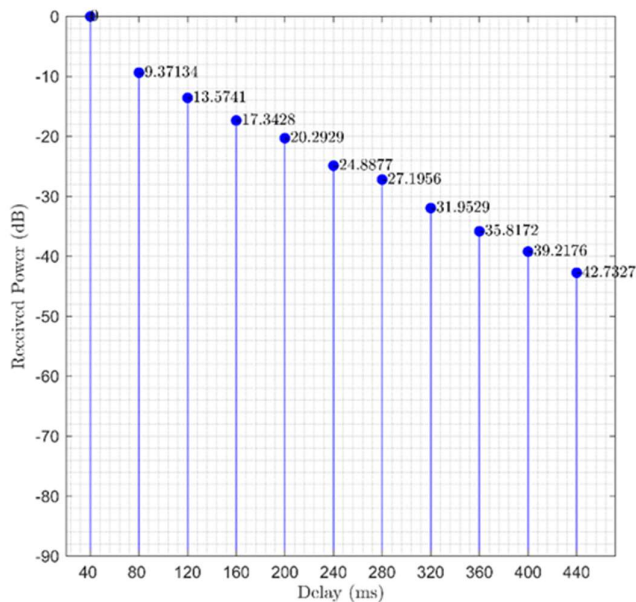
Pada tahap ini melakukan *outage performance calculation*, proses pengkalkulasian ini menggunakan Matlab dengan hasil *outputnya* berupa *outage performance*. Dalam implementasi 5G dibutuhkan referensi performansi terbaik yang diambil dari *outage performance*. Penelitian ini melakukan perhitungan kanal 500.000 kali percobaan untuk mengobservasi *Cumulative Distribution Function* (CDF) dari kapasitas kanal tiap representatif PDP pada masing-masing skenario menggunakan suhu maksimum 30,83°C dan suhu minimum 22,53 °C dengan modulasi 16 QAM, *coding rate* sebesar $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, dan Eb/No 0 dB hingga 29 dB. Semakin banyak sampel Eb/No maka semakin baik hasil *outage probability*. Dalam penelitian ini menggunakan iterasi sebanyak 500.000 realisasi yang diasumsikan mampu mewakili keadaan kanal di Kota Yogyakarta dan menghasilkan grafik yang baik. Pada penelitian ini untuk menghitung kapasitas kanal perbloknya dengan menggunakan panjang blok 128 dan dengan Eb/No yang bervariasi dari blok ke bloknya. Hal tersebut menjadikan sebuah asumsi bahwa saluran tersebut nantinya dapat mencapai *Shannon capacity* selama durasi setiap blok dan keacakan (*randomness*) dalam mutual *information* disebabkan oleh *Signal Noise Ratio* (SNR) yang acak. Kemudian setelahnya kapasitas di CDF menjadi *outage performance*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Model Kanal 5G di Kota Yogyakarta

Model kanal 5G *mmWave* 28 GHz di Kota Yogyakarta dipresentasikan PDP dengan menggunakan *environment* parameter yang didapat dari BMKG Klimatologi Mlati Yogyakarta dengan rentang waktu April 2018 hingga April 2019 dan jarak Tx-Rx sebesar 50 meter, *urban micro* (UMi), tekanan udara sebesar 991,75 mbar, kelembapan udara 79,69 %, curah hujan 150 mm/h, NLOS, dengan skenario suhu minimum 22,53°C dan suhu maksimum 30,83 °C sehingga didapat usulan representasi PDP suhu maksimum dan representasi suhu minimum. Setelah didapatkan *instantaneous* PDP dengan skenario suhu maksimum dan suhu minimum kemudian diolah menjadi usulan representatif PDP yang mewakili model kanal 5G dengan suhu maksimum dan suhu minimum di kota Yogyakarta. Adapun langkah-langkah untuk mendapatkan representatif PDP terdapat pada sub bab 2.4, dimana hasil simulasi dengan 1000 *receiver* pada NYUSIM didapatkan *instantaneous* PDP1 hingga PDP1000 dengan masing-masing skenario suhu maksimum dan suhu minimum. *Instantaneous* PDP1 hingga PDP1000 di setiap skenario dalam dBm kemudian diubah menjadi numerik untuk mempermudah pemrosesan data.

Karena dalam PDP1 hingga PDP1000 masing-masingnya memiliki *path* dengan jumlah banyak, maka mengelompokkan *timeslot delay* (τ) menjadi *indeks* (α), dimana α menggabungkan dan merata-rata *path* daya tiap interval 40 ns (1 – 40 ns, 41 – 80 ns, dst) pada τ , kemudian diubah ke *timeslot* l. Setiap *timeslot* l yang berisi rata-rata *path* daya pada seluruh PDP kemudian dilakukan perhitungan CDF dengan persentil ke-90 karena kerapatan daya tidak melebihi nilai spesifik dengan kerapatan daya puncak. Setelah itu melakukan *threshold* pada -140 dBm yang diasumsikan sebagai sensitivitas *device* 5G di Indonesia. *Delay* pada setiap *path* pada PDP adalah 10 ns dari *path* sebelumnya. Hal ini dikarenakan pada hasil simulasi *instantaneous* PDP pada NYUSIM, tiap komponen *multipath* memiliki *delay* yang sangat kecil.

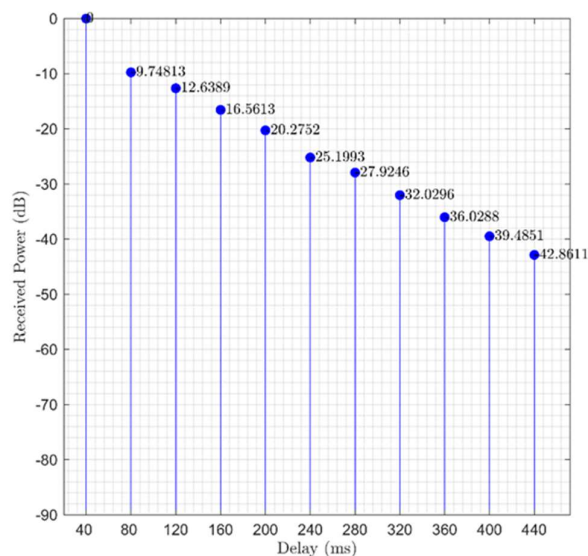


Gambar 4. Representatif PDP Kota Yogyakarta dengan Suhu Maksimum

Gambar 4 merupakan gambar nilai representatif PDP dari model kanal 5G Kota Yogyakarta dengan suhu maksimum. Berdasarkan Gambar 4 *received power* dalam bentuk dB sehingga dilakukan konversi ke dalam bentuk numerik sehingga memudahkan perhitungan untuk mencari *mean excess delay*, *mean square excess delay spreading*, *Root Mean Square (RMS) delay spread* dan *coherence bandwidth*.

Tabel 2. Konversi dB ke Numerik dengan Suhu Maksimum

<i>Path</i>	<i>Delay (ns)</i>	Daya Suhu Maksimum (dB)	Daya Suhu Maksimum (Numerik)
1	40	0	1
2	80	-9.37134	0.115575558
3	120	-13.5741	0.043912686
4	160	-17.3428	0.018438263
5	200	-20.2929	0.009347813
6	240	-24.8877	0.003245114
7	280	-27.1956	0.001907392
8	320	-31.9529	0.000637837
9	360	-35.8172	0.000261987
10	400	-39.2176	0.00011974
11	440	-42.7327	0.0000533003



Gambar 5. Representatif PDP Kota Yogyakarta dengan Suhu Minimum

Representatif PDP dengan suhu minimum tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan suhu maksimum. Dalam hal ini *received power* dalam bentuk dB dilakukan konversi ke dalam bentuk numerik sehingga memudahkan perhitungan.

Tabel 3. Konversi dB ke Numerik dengan Suhu Minimum

<i>Path</i>	<i>Delay (ns)</i>	Daya Suhu Minimum (dB)	Daya Suhu Minimum (Numerik)
1	40	0	1
2	80	-9.74813	0.109364155
3	120	-12.6389	0.054472838
4	160	-16.5613	0.021210456
5	200	-20.2752	0.008606172
6	240	-25.1993	0.002997506
7	280	-27.9246	0.001786117
8	320	-32.0296	0.000697397
9	360	-36.0288	0.00024027
10	400	-39.4851	0.000144198
11	440	-42.8611	0.0000546

3.2 Kapasitas Kanal

Pada representatif PDP dengan suhu maksimum dan minimum yang didapat pada simulasi kemudian dilakukan perhitungan kapasitas kanal yang dibagi menjadi N sub-*carrier* dengan N sebesar 128. Kapasitas dari kanal (C) merupakan nilai maksimum *mutual information* dari total informasi yang dikirim dan diterima, dimana probabilitas kesalahannya (*error probability*) mendekati nol ketika kondisi *coding rate* (R) di bawah C (Goldsmith, 2005). Pada penelitian ini melakukan analisis terhadap *outage performance*, dimana *outage probability* merupakan probabilitas kapasitas C jatuh di bawah *coding rate* dari kanal 5G Indonesia. Penggunaan

numerology disesuaikan dengan kebutuhan dari kota yang direncanakan untuk kota Yogyakarta termasuk daerah urban sehingga cocok menggunakan *numerology* 3 karena semakin tinggi *numerology* yang digunakan maka *OFDM symbol duration* semakin kecil sedangkan untuk *numerology* 0-1 lebih cocok digunakan untuk daerah rural, dengan mengamati dan mengevaluasi CDF dari kapasitas kanal C yang dihitung pada *coding rate* 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ dengan modulasi 16-QAM yang memiliki indeks modulasi $M=4$, serta dari rentang E_b/N_0 0 hingga 29 dB. Realisasi kanal yang digunakan sebanyak 500.000 iterasi. Selanjutnya kapasitas kanal diproses menggunakan CDF untuk mengevaluasi nilai kapasitas kanal (C).

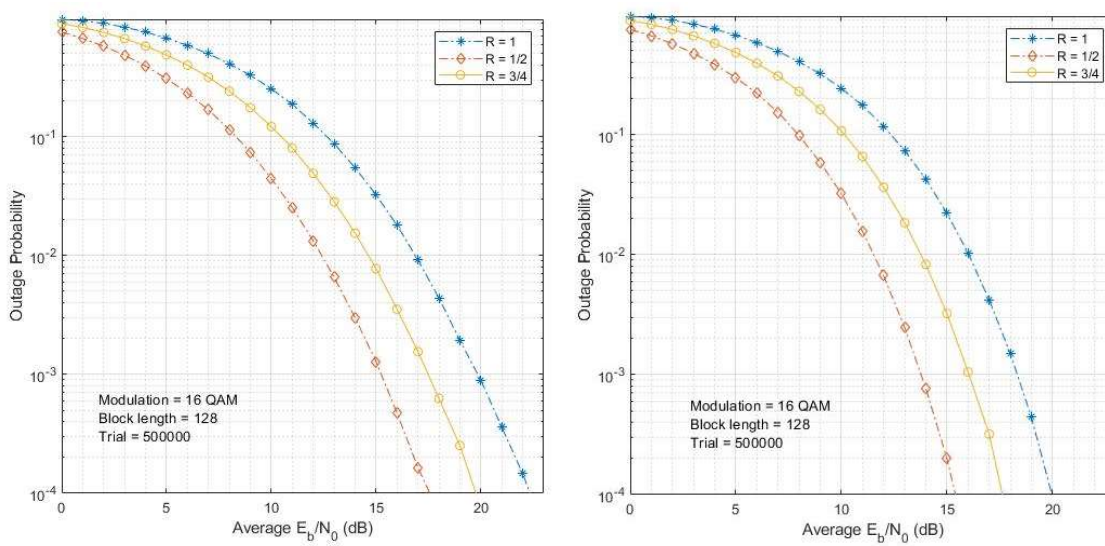
Tabel 4. Evaluasi Kapasitas Kanal di Bawah R Berdasarkan Grafik CDF dari Sumbu y

Eb/No (dB)	y(C ≤ R*M)					
	R=1/2		R=3/4		R=1	
	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
0	0.75559	0.75853	0.8937	0.89501	0.97275	0.97312
1	0.66628	0.67088	0.83045	0.83165	0.94251	0.94344
2	0.57234	0.57772	0.75365	0.75477	0.89696	0.8971
3	0.47693	0.48427	0.66643	0.66915	0.83514	0.83515
4	0.38597	0.39305	0.57605	0.57823	0.75998	0.76013
5	0.2988	0.30798	0.48398	0.48781	0.67506	0.6755
6	0.22046	0.23363	0.39339	0.39972	0.58565	0.58741
7	0.15373	0.16797	0.30841	0.31693	0.49542	0.49836
8	0.098248	0.11482	0.23004	0.2412	0.4047	0.40982
9	0.058504	0.074144	0.16267	0.17593	0.32105	0.32827
10	0.032304	0.044584	0.10745	0.12154	0.24378	0.2534
11	0.015702	0.02535	0.065948	0.080164	0.17525	0.18684
12	0.006698	0.01332	0.03654	0.049086	0.1174	0.13042
13	0.002458	0.006582	0.01846	0.028412	0.073594	0.087016
14	0.000768	0.002988	0.008284	0.015428	0.042602	0.054804
15	0.0002	1.28E-03	3.24E-03	0.00778	0.022134	0.032446
16	3.60E-05	4.72E-04	0.001052	0.00354	1.03E-02	0.018006
17	1.00E-05	1.64E-04	0.00032	1.55E-03	0.004194	0.009186
18	0	6.80E-05	5.00E-05	6.28E-04	0.001504	4.40E-03
19	0	1.40E-05	6.00E-06	2.52E-04	0.000442	1.93E-03
20	0	4.00E-06	6.00E-06	7.60E-05	9.60E-05	8.96E-04
21	0	0	0	2.80E-05	3.00E-05	0.00036
22	0	0	0	8.00E-06	0	0.000146
23	0	0	0	2.00E-06	0	5.00E-05
24	0	0	0	2.00E-06	0	1.80E-05
25	0	0	0	2.00E-06	0	4.00E-06
26	0	0	0	0	0	4.00E-06
27	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0

Tabel 4 menunjukkan hasil evaluasi CDF perhitungan besar kapasitas kanal dengan 500.000 iterasi yang jatuh di bawah R. Dalam simulasi penelitian ini menggunakan E_b/N_0 yang bervariasi yaitu 0 hingga 29 dB dan $R = 1/2, 3/4$ dan 1. Dengan menggunakan E_b/N_0 dan R yang berbeda sehingga dapat membuktikan bahwa semakin besar nilai E_b/N_0 maka semakin besar pula probabilitas kapasitas kanal (C), sehingga kegagalan berdasarkan teori informasi Shannon dapat dihindari. *Coding rate* $1/2$ dengan suhu minimum kapasitas kanal berhasil ditransmisikan pada nilai E_b/N_0 18 sampai 29 dB.

3.3 Outage Performance

Outage performances diperoleh dari perhitungan *outage probability* dari kanal dengan probabilitas ketika $C < R$. Pada Gambar 6 ditunjukkan kurva *outage performance* dari kanal model Kota Yogyakarta untuk *coding rate* 1, $1/2$ dan $3/4$, modulasi 16 QAM, *blocklength* 128, *trial* sebanyak 500.000. Gambar 6 merupakan *outage performance* dari model kanal 5G Kota Yogyakarta suhu maksimum dan suhu minimum dengan menunjukkan dari model kanal 5G kota Yogyakarta pada saat berada di titik *outage probability* 10^{-4} (sumbu y).



(a)

(b)

Gambar 6. Outage Performance (a) Suhu Maksimum dan (b) Suhu Minimum

Gambar 6 menunjukkan *outage probability* pada suhu maksimum dan minimum. Pada kondisi suhu maksimum dengan *probability* 10^{-4} saat *coding rate* $1/2$ hanya memerlukan daya sebesar 17,26 dB, sedangkan untuk mencapai titik *outage probability* 10^{-4} pada *coding rate* 1 membutuhkan daya 22,11 dB dan pada *coding rate* $3/4$ membutuhkan daya 19,53 dB. Dan pada suhu minimum *coding rate* $1/2$ hanya memerlukan daya sebesar 15,25 dB pada *coding rate* 1 membutuhkan daya 19,82 dB dan pada *coding rate* $3/4$ membutuhkan daya 17,45 dB. Dapat disimpulkan bahwa *coding rate* $1/2$ dan suhu minimum lebih efisien dalam penggunaan daya pada *outage probability* 10^{-4} .

Tabel 5. Perbandingan *Outage Performance* antara R dan Skenario Suhu.

<i>Outage Probability</i>	Eb/No (dB)					
	R = 1/2		R=3/4		R=1	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
10 ⁻⁴	15.25	17.26	17.45	19.53	19.82	22.11

Probabilitas kegagalan deteksi (*P_{out}*) pada R = 1/2, 3/4 dan 1 sebesar 0,0001 dari 500.000 realisasi kanal hanya terdapat sebanyak 50 kapasitas kanal (C) bernilai lebih kecil dari *coding rate* (R) yang sesuai dengan *theory Shannon* (C<R) dan probabilitas keberhasilan bit deteksi adalah 0,9999. Ini menunjukkan terdapat sebanyak 499.950 kapasitas kanal C dari 500.000 realisasi kanal bernilai lebih besar dari *coding rate* sehingga seluruh bit pada *codeword* berhasil di-*decode*. *Outage probability* ini dapat menjadi rujukan dalam pengembangan pada sistem 5G di Kota Yogyakarta.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah memodelkan kanal 5G berdasarkan data parameter *environment* kota Yogyakarta dengan rentang waktu 1 tahun (April 2018 – April 2019). Dapat disimpulkan bahwa suhu maksimum dan minimum mempengaruhi performansi kanal pada sistem komunikasi 5G. Dengan penggunaan *coding rate* 1/2 lebih efisien dalam kualitas dan kapasitas kanal baik pada suhu minimum maupun suhu maksimum dan *coding rate* 1 paling tidak efisien digunakan untuk model kanal 5G di Yogyakarta karena memerlukan daya yang besar.

DAFTAR RUJUKAN

- Alfaroby, E. M., Adriansyah, N. M., & Anwar, K. (2018). Study on channel model for Indonesia 5G networks. *2018 International Conference on Signals and Systems, ICSigSys 2018 - Proceedings*, (pp. 125–130). <https://doi.org/10.1109/ICSIGSYS.2018.8372650>
- Alfaroby, M. E., T, E. K. A. S., Eng, M., & Ardiansyah, N. M. (2018). *5G Channel Model Indonesia Menggunakan Teknik Statistical Spatial Channel Model (Sscm) Indonesia 5G Channel Model Based on Statistical Spatial Channel Model (Sscm)*. 5(1), 107–115.
- Christy, E., Astuti, R. P., & Anwar, K. (2019). Telkom University 5G Channel Models under Foliage Effect and Their Performance Evaluations. *Proceeding - 2018 International Conference on ICT for Rural Development: Rural Development through ICT: Concept, Design, and Implication, IC-ICTRuDEV 2018*, (1), 29–34. <https://doi.org/10.1109/ICICTR.2018.8706848>
- Goldsmith, A. (2005). *Wireless Communications, 1st ed*. Cambridge University Press.
- GSMA. (2018). Road to 5G: Introduction and Migration. *Gsma*, (April), 54. Retrieved from <https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2018/04/Road-to-5G->

Introduction-and-Migration_FINAL.pdf

- ITU-R. (2015). "IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond." *Itu-R M.2083-0, 0*, <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.
- Li, S., Liu, Lin, Sun, Yang & Sun. (2018). Millimeter-Wave Channel Simulation and Statistical Channel Model in the Cross-Corridor Environment at 28 GHz for 5G Wireless System. *2018 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology, ICMMT 2018 - Proceedings*, (pp. 1–3). <https://doi.org/10.1109/ICMMT.2018.8563957>
- Rahman, M. N., & Anwar, K. (2018). Outage Performances of 5G Channel Model Considering Temperature Effects at 28 GHz. *2nd Symposium of Future Telecommunication and Technologies (SOFTT) 2018*, (pp. 4–5).
- Rappaport, T. S., Sun, S., & Shafi, M. (2018). Investigation and comparison of 3GPP and NYUSIM channel models for 5G wireless communications. *IEEE Vehicular Technology Conference, 2017-September*, (pp. 1–5). <https://doi.org/10.1109/VTCFall.2017.8287877>
- Sun, S., Maccartney, G. R., & Rappaport, T. S. (2017). A novel millimeter-wave channel simulator and applications for 5G wireless communications. *IEEE International Conference on Communications, 10*. <https://doi.org/10.1109/ICC.2017.7996792>
- Wang, C. X., Bian, J., Sun, J., Zhang, W., & Zhang, M. (2018). A survey of 5g channel measurements and models. *IEEE Communications Surveys and Tutorials, 20(4)*, 3142–3168. <https://doi.org/10.1109/COMST.2018.2862141>
- Wu, D., Zhang, X., Qiu, J., Gu, L., Saito, Y., Benjebbour, A., & Kishiyama, Y. (2016). A field trial of f-OFDM toward 5G. *2016 IEEE Globecom Workshops, GC Wkshps 2016 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/GLOCOMW.2016.7848810>