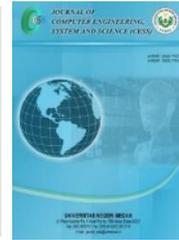


Contents list available at www.jurnal.unimed.ac.id

CESS
(Journal of Computing Engineering, System and Science)

journal homepage: <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/cess>



**Model Kanal 5G Di Bawah Pengaruh Human Blockage Pada
Frekuensi 3,5 GHz**
**5G Channel Model Under the Effect of Human Blockage at 3.5 GHz
Frequency**

Reni Dyah Wahyuningrum¹, Dikko Pramudya^{2*}, Indah Permatasari³

^{1,2,3} Institut Teknologi Telkom Purwokerto

Jl. DI Panjaitan No.128, Karangreja, Purwokerto, Indonesia

email: ¹reni@ittelkom-pwt.ac.id, ²17101133@ittelkom-pwt.ac.id, ³indah@ittelkom-pwt.ac.id

Diterima: 06 Agustus 2021 | Diterima setelah perbaikan: 07 Nopember 2021 | Disetujui: 16 Nopember 2021

ABSTRAK

Komunikasi seluler generasi kelima (5G) New Radio (NR) dengan kecepatan transfer data hingga 20 Gbps yang menggunakan frekuensi tinggi yaitu 6 GHz - 100 GHz. Dengan menggunakan frekuensi yang tinggi maka kanal akan sensitif terhadap keadaan alam dan human blockage. Penelitian ini menganalisis perbandingan kinerja model kanal 5G dengan dan tanpa pengaruh human blockage. Frekuensi yang digunakan sebesar 3,5 GHz dengan bandwidth 99 MHz menggunakan Cyclic Prefix-Orthogonal Frequency Division Multiplexing (CP-OFDM) pada modulasi Quadrature Phase Shift Keying (QPSK). Hasil penelitian ini menunjukkan model kanal 5G yang direpresentasikan dalam Power Delay Profile (PDP) representative didapatkan sebanyak 37 path dengan dan tanpa pengaruh human blockage. Hasil menunjukkan bahwa untuk mendapatkan outage performances sebesar 10⁻³, membutuhkan Signal to Noise Ratio (SNR) sebesar 22 dB dengan pengaruh human blockage dan SNR sebesar 22,3 dB tanpa pengaruh human blockage (non human blockage). Kinerja Frame Error Rate (FER) pada 10⁻³ membutuhkan SNR sebesar 46,5 dB dengan pengaruh human blockage dan SNR sebesar 46,8 dB untuk non human blockage. Kinerja Bit Error Rate (BER) untuk mencapai 10⁻⁴ membutuhkan SNR sebesar 35 dB dengan pengaruh human blockage dan SNR sebesar 35,5 dB untuk non human blockage. Hasil menunjukkan bahwa human blockage pada frekuensi 3,5 GHz dapat mempengaruhi kinerja sistem 5G dan membutuhkan strong codes untuk meminimalkan error seperti convolutional, polar, dan repetition codes.

Kata Kunci: 5G, Power Delay Profile, Human Blockage, Non Human Blockage, Outage Probability, Frame Error Rate, Bit Error Rate.

*Penulis Korespondensi:

email: 17101133@ittelkom-pwt.ac.id

ABSTRACT

Fifth generation (5G) New Radio (NR) cellular communication with data transfer rates up to 20 Gbps using high frequencies of 6 GHz - 100 GHz. By using a high frequency, the channel will be sensitive to natural conditions and human blockage. This study analyzes the comparison of the performance of the 5G channel model with and without the influence of human blockage. The frequency used is 3.5 GHz with a bandwidth of 99 MHz using Cyclic Prefix-Orthogonal Frequency Division Multiplexing (CP-OFDM) on Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) modulation. The results of this study show that the 5G channel model represented in the representative Power Delay Profile (PDP) obtained 37 paths with and without the influence of human blockage. The results show that to get outage performances of 10⁻³, requires a Signal to Noise Ratio (SNR) of 22 dB with the influence of human blockage and an SNR of 22.3 dB without the influence of human blockage (non human blockage). The Frame Error Rate (FER) performance at 10⁻³ requires an SNR of 46.5 dB with the effect of human blockage and an SNR of 46.8 dB for non-human blockage. Bit Error Rate (BER) performance to reach 10⁻⁴ requires an SNR of 35 dB with the effect of human blockage and an SNR of 35.5 dB for non-human blockage. The results show that human blockage at a frequency of 3.5 GHz can affect the performance of the 5G system and requires strong codes to minimize errors such as convolutional, polar, and repetition codes. This research is expected to be a reference in the development of 5G technology in Indonesia.

Keywords: 5G, Power Delay Profile, Human Blockage, Non Human Blockage, Outage Probability, Frame Error Rate, Bit Error Rate.

1. PENDAHULUAN

Frekuensi yang digunakan pada teknologi 5G adalah frekuensi tinggi dengan rentang 500 MHz – 100 GHz [1]. Teknologi 5G mendukung skenario dan aplikasi dari segitiga usage scenario International Telecommunication Union (ITU) yaitu enhanced mobile broadband (eMBB), ultra-reliable and low latency communications (URLLC), dan massive machine type communications (mMTC) [2].

Keterbatasan dari pita spektrum frekuensi yang tersedia untuk kebutuhan komunikasi nirkabel seluler (2G, 3G, dan 4G) yang menjadi salah satu faktor pendorong untuk penentuan mencari pita frekuensi yang baru untuk komunikasi nirkabel 5G [3]. Frekuensi operasi 5G berada pada rentang 1-100 GHz yang merupakan frekuensi tinggi yang sensitif terhadap pengaruh alam dan sekitarnya. Faktor yang mempengaruhi redaman pada frekuensi tinggi antara lain, suhu, kelembapan, tekanan udara, curah hujan, dan ketebalan vegetasi [4]. Selain perbedaan dari keadaan alam, salah satu faktor yang harus diperhatikan juga yaitu human blockage disebabkan oleh adanya hambatan contohnya ada manusia yang di dekat telepon seluler atau ada hambatan yang disebabkan oleh karena gedung atau bangunan yang membuat terjadinya shadowing loss dalam beberapa ratus milliseconds [5].

Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan frekuensi sebesar 3,5 GHz, bandwidth sebesar 99 MHz dengan dan tanpa pengaruh human blockage melalui simulator. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan mengevaluasi outage performances dari kanal 5G yang divalidasi menggunakan frame error rate (FER). Penelitian ini juga mengevaluasi bit-error rate (BER) dari kanal 5G dengan human blockage dan pada non-human blockage. Pengujian ini dilakukan dengan konsep OFDM numerology dalam standar 5G NR dengan ukuran cyclic prefix (CP) dan modulasi Quadrature Phase Shift Keying (QPSK).

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada penelitian model kanal 5G dengan pengaruh human blockage penulis akan mengungkapkan referensi kajian Pustaka. Pustaka yang relevan digunakan dan menjadi acuan bagi penulis dalam menyusun dan melakukan penelitian.

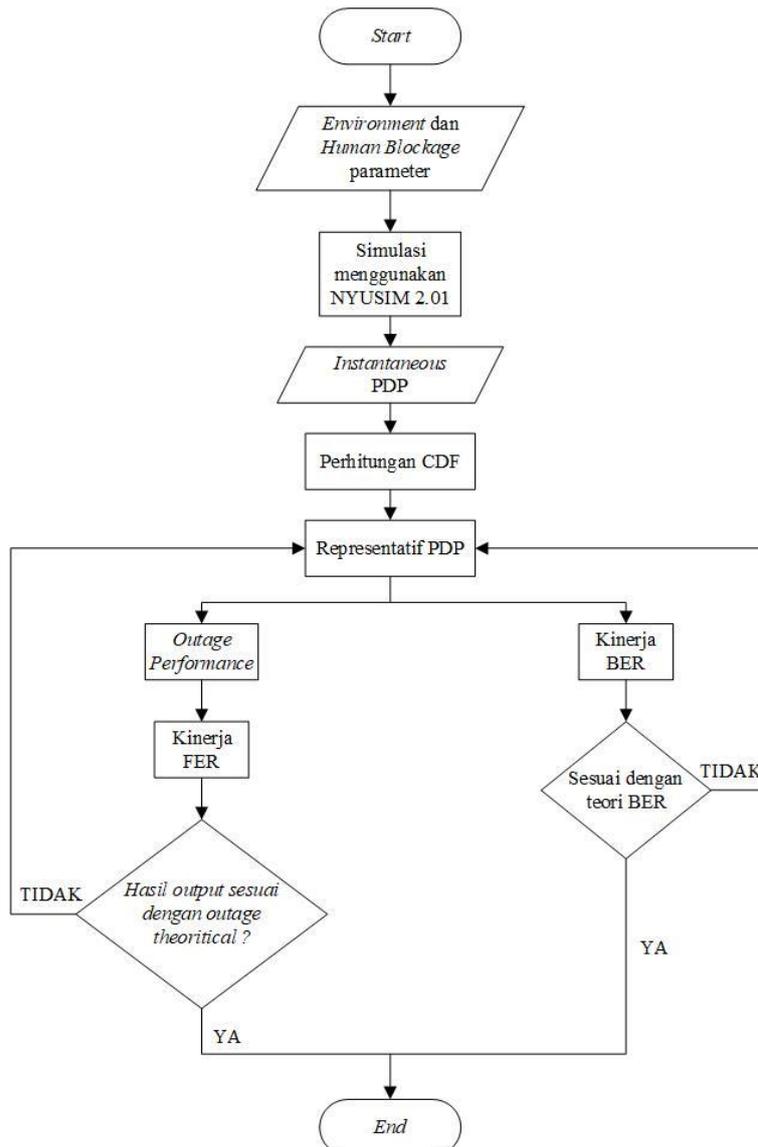
Pada penelitian Shihao Ju, Ojas Kanhere, Yunchou Xing, dan Theodore S. Rappaport pada tahun 2019 yang berjudul "A millimeter-Wave Channel Simulator NYUSIM with Spatial Consistency and Human Blockage", penelitian tersebut menggunakan NYUSIM versi 2.0 yang mempunyai fitur-fitur terbaru yaitu spatial consistency, human blockage, dan outdoor-to-indoor penetration loss. Dengan menggunakan frekuensi 73 GHz, bandwidth 800 MHz, UMi LOS dan NLOS, T-R separation distance 100m – 500m, 1000 UT location. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa human blockage mempengaruhi kinerja dari sistem 5G pada frekuensi yang tinggi[5].

Pada penelitian M. Alfaroby E, Nachwan Mufti Adriansyah, dan Khoirul Anwar pada tahun 2018 yang berjudul "Study on Channel Model for Indonesia 5G Networks", menggunakan frekuensi 28 GHz, bandwidth sebesar 200 MHz, dan menggunakan modulasi BPSK. Kemudian menggunakan parameter keadaan alam pada kota Bandung, diantaranya adalah parameter tekanan udara sebesar 924,1 mbar, kelembapan sebesar 77,87%, dan suhu rata-rata sebesar 23,65°C. Dengan jarak antara pemancar dan penerima yaitu 200 meter. Serta melakukan serangkaian simulasi menggunakan multiplexing pembagian frekuensi orthogonal dengan sistem cyclic prefix (CP-OFDM) untuk memastikan kinerja model saluran yang diperoleh. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut yaitu saluran 5G Indonesia dapat dimodelkan oleh aluran fading multipath yang mempunyai 18 jalur dengan delay interval 10ns. Dan pada penelitian ini menguji frame error rate (FER) dan bit error rate (BER) yang dilakukan untuk memvalidasi dari outage performance probability terhadap model kanal yang diusulkan [4].

Pada penelitian Reni Dyah W, Khoirul Anwar, dan Levy Olivia Nur pada tahun 2019 yang berjudul "Humidity Effect to The Indonesia 5G Channel Model at 3.3 GHz", dengan menggunakan frekuensi 3,3 GHz, bandwidth sebesar 99 MHz, dan menggunakan modulasi C-BPSK. Kemudian menggunakan parameter keadaan alam pada Bandung, diantaranya adalah parameter kelembapan maksimum sebesar 74,88%, kelembapan minimum sebesar 36,37%, suhu sebesar 28,03°C, tekanan barometric sebesar 937 mbar, dan curah hujan sebesar 120 mm/h. Dengan jarak antara pemancar dan penerima yaitu 250 meter. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut yaitu model saluran 5G yang diusulkan dengan kelembapan maksimum dan kelembapan minimum mempunyai 9 jalur. Outage Performance yang akan dijadikan referensi teoritis menggunakan performa FER untuk CP-OFDM Numerology $\mu = 1$ dengan modulasi 5G C-BPSK Convolutional codes [6].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengusulkan skenario pengujian untuk menganalisis performansi dari OFDM Numerology 1 pada system 5G NR di Indonesia. Alur metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Pada Penelitian

Langkah pertama adalah mencari dan mengumpulkan parameter lingkungan melalui data BMKG. Kedua, parameter lingkungan yang diperoleh akan digunakan untuk menghasilkan instantaneous PDP dengan frekuensi sebesar 3,5 GHz dan bandwidth sebesar 99 MHz dengan dan tanpa pengaruh human blockage melalui simulator NYUSIM. Langkah selanjutnya adalah proses thresholding sebesar -140 dB terhadap daya terima untuk menghasilkan representative PDP. Langkah keenam adalah menghitung kapasitas dari kanal 5G berdasarkan OFDM Numerology 1 yang digunakan. Kapasitas kanal 5G akan dihitung dari representative PDP berdasarkan theorema shannonlimit. Kapasitas kanal akan digunakan dalam perhitungan outage performances dengan asumsi bahwa kapasitas Shannon dicapai ketika $R \leq C$. Langkah selanjutnya adalah outage performances yang akan dianalisis perbandingan pengaruh human blockage dan non-human blockage. Langkah terakhir adalah, memvalidasi outage performance OFDM numerology 1 dengan FTTsize sebesar 128, $R = 1$, dan modulasi QPSK menggunakan performances FER. Validasi juga dilakukan pada kinerja BER hasil simulasi menggunakan teori BER fading QPSK.

3.1. Numerology OFDM

Penerapan teknologi radio akses 5G NR mempunyai opsi kategori frekuensi di bawah 6 GHz dan di atas 6 GHz maka dibutuhkan support layanan yang beda. OFDM tunggal tidak bisa memenuhi kebutuhan dari performansi semua rentang frekuensi yang diimplementasikan sehingga diperlukannya OFDM numerology untuk 5G radio access technology (RAT) yang ditunjukkan pada Tabel 1 [7].

Tabel 1. OFDM Numerology Pada Sistem 5G

Parameter/ Numerology (μ)	0	1	2	3
Subcarrier Spacing (KHz)	15	30	60	120
OFDM Sym. (μs)	66.67	33.33	16.67	8.33
CP Duration (μs)	4.69	2.34	1.17	0.57
OFDM CP Sym. (μs)	71.35	35.68	17.84	8.92
Bw. min. (MHz)	4.32	8.64	17.28	34.56
Bw mak. (MHz)	49.5	99	198	396

3.2. Environment Parameter

Penelitian dimulai dengan mengumpulkan data-data parameter environment yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) untuk digunakan sebagai nilai input channel parameter pada NYUSIM ditunjukkan pada Tabel 2. Rentang waktu pengambilan data environment yaitu dari bulan Januari 2020 – Januari 2021. Penelitian ini menggunakan inputan pada simulator dengan environment parameter pada Tabel 2, frekuensi sebesar 3,5 GHz, bandwidth sebesar 99 MHz, skenario Urban Micro (Umi), jarak antar pemancar dan penerima diasumsikan sejauh 250 meter, kondisi non line of sight (NLOS), dengan dan tanpa pengaruh human blockage.

Tabel 2. Parameter Environment Kota Purwokerto

Parameter	Nilai
Suhu	27,89°C
Kelembapan Udara	83,30%
Tekanan Udara	1010,56 mBar
Curah Hujan	15,86 mm/hr

3.3. Representative PDP

Representative PDP adalah hasil-hasil dari perhitungan setelah mendapatkan instantaneous PDP dengan efek iklim kondisi alam dan dengan efek human blockage dari channel model. Berikut adalah langkah-langkah yang digunakan untuk merepresentatif PDP yang sudah dilakukan pada penelitian [8] :

- 1) Pembulatan delay untuk PDPi dengan rentang pembulatan $\Delta T \leq 1/B$.

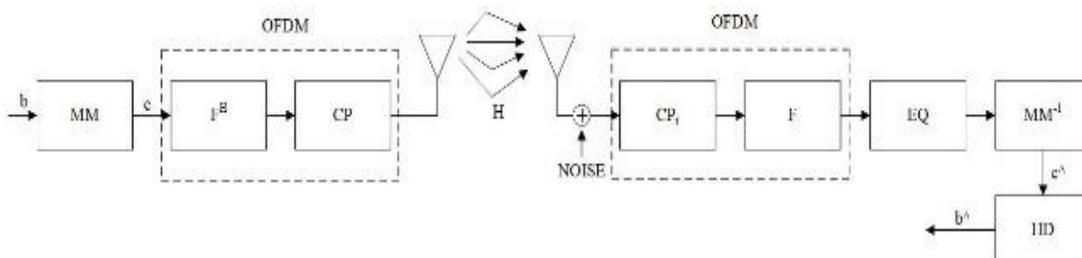
- 2) Waktu delay di tambahkan ke semua PDPi.
- 3) Menggunakan CDF persentil 90 dari power yang sesuai dari semua PDP.
- 4) Menggunakan threshold -140 dB dari PDP representative. Threshold tersebut diasumsikan sebagai sensitivitas 5G di Indonesia.
- 5) Menggunakan Scaling method untuk mendapatkan ukuran FFTsize yang dibutuhkan (FFTor_i) agar semua path yang diperoleh dapat memenuhi persyaratan panjang CP harus lebih besar atau sama dengan total path asli ($Q \geq \sum \text{Pathori}$).
- 6) Normalisasi Pathsim untuk mendapatkan PDP akhir.

3.4. Perhitungan Outage Performance

Perhitungan Outage probability dimulai dengan perhitungan kapasitas kanal yang dimana kapasitas dihitung per blok dengan FFTsize sebesar 128 dan dengan E_b/N_0 yang bervariasi dari blok ke blok. Penelitian ini menggunakan perhitungan kanal sebanyak 400.000 kali percobaan untuk mengobservasi CDF dari kapasitas kanal tiap representative PDP di masing-masing skenario menggunakan Human Blockage dengan modulasi QPSK, R sebesar 1, dan E_b/N_0 yang beragam.

3.4. Validasi Model kanal 5G

Pada validasi ini memanfaatkan teknik CP-OFDM pada system 5G yang dirancang sehingga outage performances dari representative PDP untuk OFDM numerology 1 diuji dan divalidasi menggunakan CP-OFDM. Parameter validasi yang akan diuji yaitu FER dan BER berdasarkan penerapan modulasi QPSK. Gambar 2 menunjukkan struktur CP-OFDM untuk memvalidasi hasil outage performances pada kanal 5G.



Gambar 2. Model Kanal 5G dengan dan tanpa pengaruh human blockage

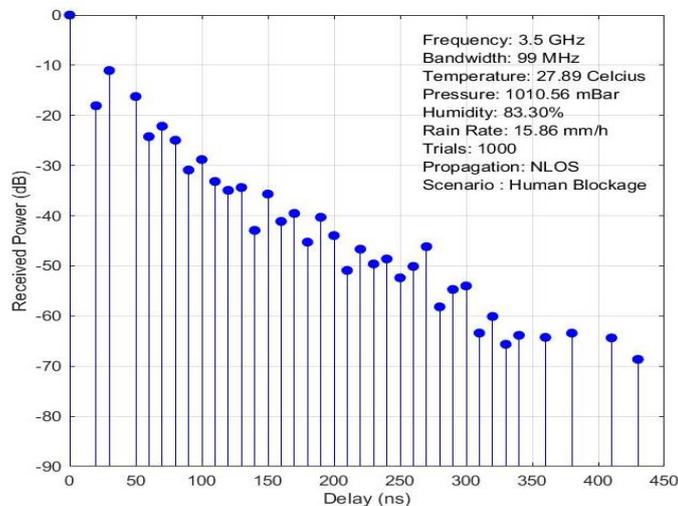
Bit informasi yang dibangkitkan pada sisi transmitter secara acak sebanyak jumlah bit tertentu dengan probabilitas kemunculan bit 0 dan 1 yang sama. Setelah dibangkitkan, informasi akan dimodulasi pada modulator untuk menghasilkan simbol yang berisi bit-bit informasi. Simbol keluaran dari modulator kemudian ditransformasikan menggunakan IFFT dengan panjang FFT sebesar 128. Penambahan Cyclix Prefix dengan panjang sama dengan atau lebih dari jumlah path. Simbol OFDM kemudian ditransmisikan pada kanal multipath fading. Pada sisi penerima sinyal akan diterima yang diwakilkan dengan Power Delay Profile (PDP) yang dipengaruhi oleh noise. Kemudian, menghapus CP yang dilanjutkan dengan proses FFT. Simbol yang telah diekualisasi akan didemodulasi menggunakan demodulator QPSK. Langkah terakhir adalah proses hard decision untuk mengembalikan simbol kedalam bentuk bit-bit informasi dan menentukan apakah bit-bit yang diterima tersebut adalah bit 0 atau 1 yang diharapkan sesuai dengan bit informasi yang ditransmisikan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

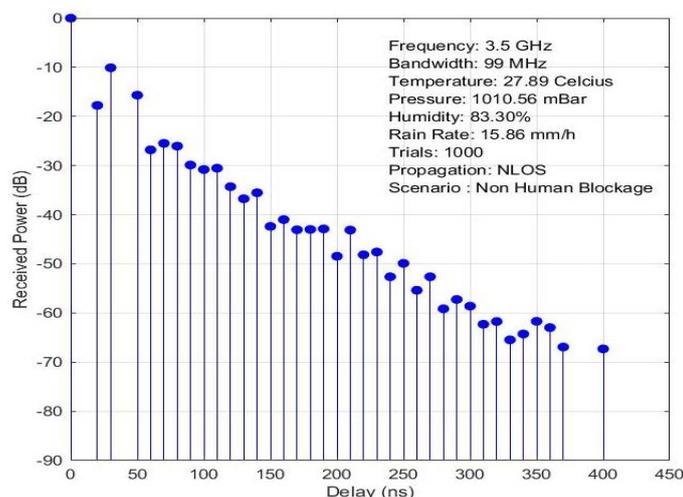
4.1. Model Kanal 5G Human Blockage dan Non-Human Blockage

Hasil data yang diperoleh dari simulasi NYUSIM dengan 1000 receiver didapatkan instantaneous PDP1 sampai dengan PDP1000 dengan masing-masing skenario human blockage dan non-human blockage. Data instantaneous PDP1 sampai dengan PDP1000 dihitung untuk mendapatkan nilai timeslot delay (τ) per path dari PDP agar dikelompokkan ke dalam grouping indeks (α) untuk mengelompokkan tiap interval 10 ns (1-10 ns, 11-20 ns, 21-30 ns, dst) pada τ , kemudian diubah ke timeslot 1. Semua timeslot 1 dengan rata-rata path daya pada seluruh PDP kemudian menghitung CDF dengan persentil 90. Selanjutnya dilakukan thresholding sebesar -140 dB yang diasumsikan sensitivitas *device* 5G di Indonesia.

Gambar 3 menunjukkan *representative* PDP dari model kanal 5G sebesar 37 path pada skenario *human blockage* dan gambar 4 pada skenario *non-human blockage*. Pada setiap path *representative* PDP memiliki *delay* berkelipatan sebesar 10 ns. Hasil menunjukkan bahwa model kanal 5G dengan pengaruh *human blockage* pada umumnya memiliki daya yang lebih besar dibandingkan dengan *non-human blockage*.



Gambar 3. Representatif PDP dengan Pengaruh Human Blockage

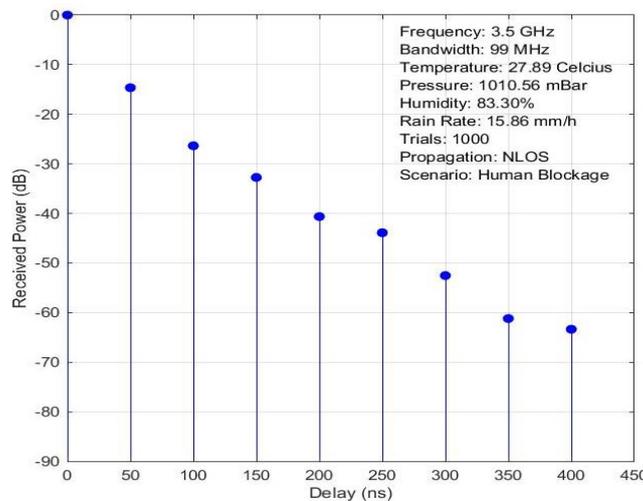


Gambar 4. Representatif PDP Tanpa Pengaruh Human Blockage

Pada penelitian ini menggunakan FFTsize sebesar 128, sehingga diperlukan metode *scaling* pada *representative* PDP. *Scaling* dapat dihitung menggunakan (1).

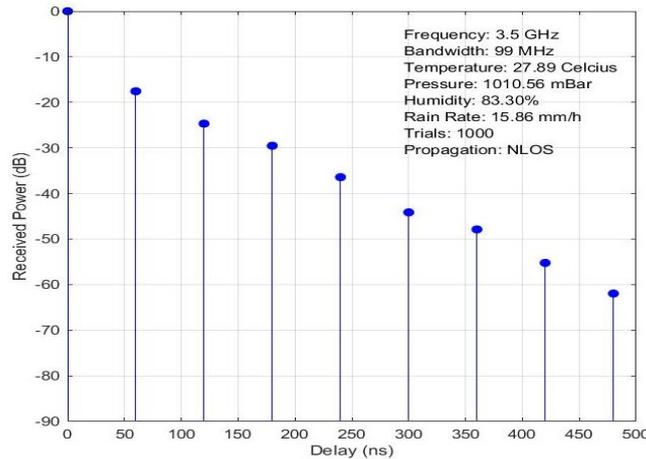
$$\begin{aligned} & \sum Path_{modif} \\ &= \frac{FFT_{modif}}{FFT_{real}} \cdot PDP_{real} \end{aligned} \quad (1)$$

Melakukan *scaling method* dengan memperhatikan ukuran FFT yang sebenarnya dibutuhkan FFT_{real} sehingga seluruh *path* asli yang diperoleh dapat memenuhi persyaratan bahwa panjang CP harus lebih besar atau sama dengan total *path* asli ($Q \geq \sum PDP_{real}$). Perhitungan *scaling method* ini dilakukan untuk mengetahui total *path modif* $\sum PDP_{modif}$ yang benar dan sesuai untuk mewakili seluruh *path* asli dari kanal apabila ukuran FFT yang digunakan dalam simulasi FFT_{modif} lebih kecil dari FFT_{real} yang seharusnya. Hasil perhitungan $Path_{modif}$ sama dengan 9 *path* dengan FFT yang digunakan untuk simulasi sebesar 128.



Gambar 5. Hasil PDP Modifikasi Skenario Human Blockage

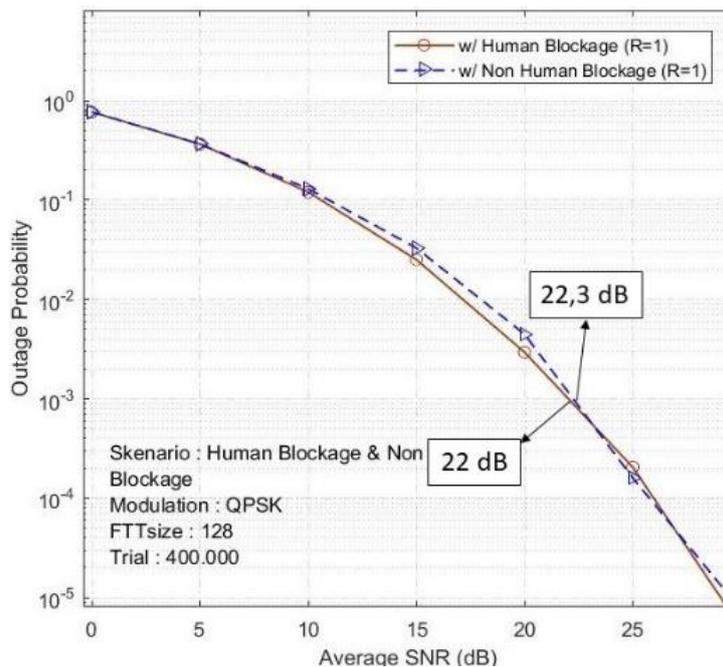
Gambar 5 menunjukkan hasil modifikasi dari 37 *path* PDP representatif menjadi 9 *path* modifikasi untuk pengaruh *human blockage* dan Gambar 6 untuk pengaruh *non-human blockage*.



Gambar 6. Hasil PDP Modifikasi Skenario *Non Human Blockage*

4.2. Outage Performances Dengan Dan Tanpa Pengaruh Human Blockage

Penelitian ini menggunakan coding rate $R = 1$, modulasi QPSK, FFTsize 128, dengan trial sebanyak 400.000 iterasi. Outage performance diperoleh dengan mengambil nilai pada $C = R$ untuk setiap SNR. Gambar 7 menunjukkan hasil kurva outage performances dari kanal model 5G dengan skenario *human blockage* dan *non-human blockage* yang dievaluasi pada titik 10^{-3} .

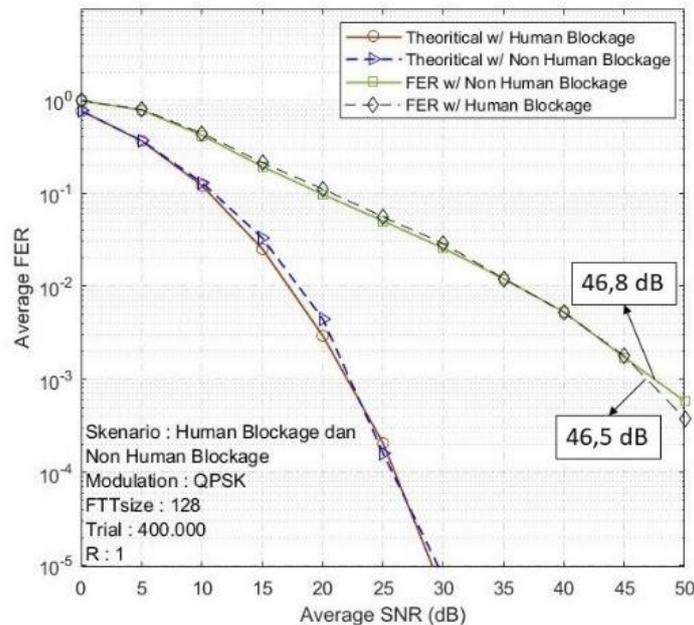


Gambar 7. Hasil Outage Performance skenario human blockage dan non-human blockage

Untuk mencapai titik *outage probability* 10^{-3} pada skenario *human blockage* memerlukan SNR sebesar 22 dB, dan pada *non-human blockage* memerlukan SNR sebesar 22,3 dB. Pada hasil kinerja *outage performance* ini menunjukkan bahwa kondisi kanal dengan pengaruh *human blockage* berpengaruh terhadap kinerja sistem komunikasi pada 5G dibandingkan dengan *non-human blockage*, karena memiliki *gap* sebesar 0,3 dB

4.3. Kinerja Frame Error Rate (FER)

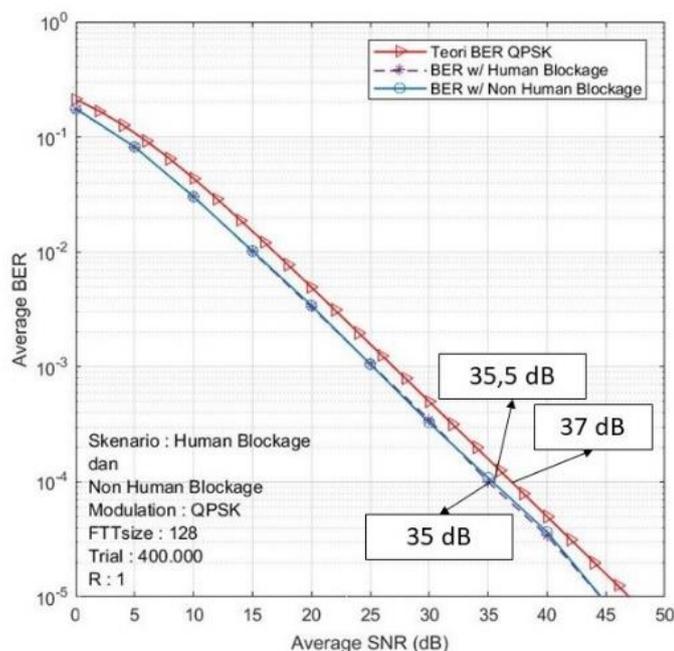
Kinerja FER dari kanal pada skenario *human blockage* dan *non-human* dengan kanal 5G atau PDP modifikasi pada setiap skenario. Kinerja FER dihitung dengan menggunakan FFTsize 128, menggunakan *trial* sebesar 400.000 iterasi, dan menggunakan CP-OFDM *numerology* 1 dengan panjang CP sebesar 9 dan rate $R = 1$, kinerja FER ditunjukkan pada gambar 8. Gambar 8 menunjukkan bahwa kondisi kanal dengan skenario *human blockage* berpengaruh terhadap kinerja FER meskipun memiliki perbedaan yang kecil dengan *gap* sebesar 0,3 dB. *Gap* antara kurva kinerja FER dan *Theoretical Outage* pada skenario *human blockage* memiliki rentang sebesar 24,5 dB, jika dilihat dari penggunaan *Average FER* yang dibutuhkan pada titik 10^{-3} . Sedangkan, *gap* antara kurva kinerja FER dan *Theoretical Outage* pada skenario *non-human blockage* yang memiliki rentang sebesar 24,5, jika dilihat dari penggunaan *Average FER* yang dibutuhkan pada titik 10^{-3} .



Gambar 8. Hasil Frame Error Rate

4.4. Kinerja Bit Error Rate (BER)

Saat mencapai BER sebesar 10^{-4} , hasil dari kinerja teori BER *fading* QPSK sebesar 37 dB ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Hasil Bit Error Rate

Pada saat BER sebesar 10^{-4} dengan skenario *human blockage* membutuhkan SNR sebesar 35 dB, sedangkan untuk skenario *non-human blockage* membutuhkan SNR sebesar 35,5 dB. *Gap* antara kurva kinerja BER pada skenario *human blockage* dengan kurva teori BER *fading* QPSK memiliki rentang SNR sebesar 2 dB. Sedangkan *gap* antara kurva kinerja BER pada skenario *non-human blockage* dengan kurva teori BER *fading* QPSK memiliki rentang SNR sebesar 1,5 dB. Kondisi ini menunjukkan bahwa kinerja BER pada skenario *human blockage* mempunyai hasil yang lebih bagus dai pada kinerja BER skenario *non-human blockage* dan teori BER *fading* QPSK.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penggunaan skenario human blockage dan non-human blockage memiliki PDP representative masing-masing sejumlah 37 path. Untuk mencapai titik Outage Performances 10^{-3} pada skenario human blockage memerlukan SNR sebesar 22 dB, dan pada non-human blockage memerlukan SNR sebesar 22,3 dB. Pada hasil kinerja outage performances ini menunjukkan bahwa kondisi kanal dengan pengaruh human blockage sedikit berpengaruh terhadap kinerja sistem komunikasi pada 5G dibandingkan dengan non-human blockage, karena memiliki gap sebesar 0,3 dB dari hasil outage performances pada $R=1$.

Pada kinerja FER 10^{-3} skenario human blockage membutuhkan SNR sebesar 46,5 dB, sedangkan untuk skenario non-human blockage membutuhkan SNR sebesar 46,8 dB. Gap antara kurva kinerja FER dan Theoretical Outage pada skenario human blockage memiliki rentang sebesar 24,5 dB, jika dilihat dari penggunaan Average FER yang dibutuhkan pada titik 10^{-3} . Sedangkan, gap antara kurva kinerja FER dan Theoretical Outage pada skenario non-human blockage yang memiliki rentang sebesar 24,5 dB, jika dilihat dari penggunaan average FER yang dibutuhkan pada titik 10^{-3} .

Pada saat BER mencapai 10^{-4} , hasil dari kinerja teori BER *fading* QPSK sebesar 37 dB. Pada saat BER sebesar 10^{-4} dengan skenario human blockage membutuhkan SNR sebesar 35 dB, sedangkan untuk skenario non-human blockage membutuhkan SNR sebesar 35,5 dB. Gap

antara kurva kinerja BER pada skenario human blockage dengan kurva teori BER fading QPSK memiliki rentang SNR sebesar 2 dB. Sedangkan gap antara kurva kinerja BER pada skenario non-human blockage dengan kurva teori BER fading QPSK memiliki rentang SNR sebesar 1,5 dB. Kondisi ini menunjukkan bahwa kinerja BER pada skenario human blockage mempunyai hasil yang lebih bagus dari pada kinerja BER skenario non-human blockage dan teori BER fading QPSK.

REFERENSI

- [1] K. Haneda et al., "5G 3GPP-like channel models for outdoor urban microcellular and macrocellular environments," *IEEE Veh. Technol. Conf.*, vol. 2016-July, 2016, doi: 10.1109/VTCSpring.2016.7503971.
- [2] ITU-R, "IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," *ITU-R M.2083-0*, vol. 0, p. https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M, 2015.
- [3] T. A. Nugraha and A. Hikmaturokhman, "Simulasi Penggunaan Frekuensi Milimeter Wave Untuk Akses Komunikasi Jaringan 5G Indoor," *J. Infotel*, vol. 9, no. 1, pp. 24–30, 2017, doi: 10.20895/infotel.v9i1.144.
- [4] E. M. Alfaroby, N. M. Adriansyah, and K. Anwar, "Study on channel model for Indonesia 5G networks," *2018 Int. Conf. Signals Syst. ICSigSys 2018 - Proc.*, pp. 125–130, 2018, doi: 10.1109/ICSIGSYS.2018.8372650.
- [5] S. Ju, O. Kanhere, Y. Xing, and T. S. Rappaport, "A millimeter-wave channel simulator NYUSIM with spatial consistency and human blockage," *2019 IEEE Glob. Commun. Conf. GLOBECOM 2019 - Proc.*, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/GLOBECOM38437.2019.9013273.
- [6] W. Reni Dyah, K. Anwar, and L. O. Nur, "Humidity Effect to the Indonesia 5G Channel Model at 3.3 GHz," *3rd Symp. Futur. Telecommun. Technol. SOFTT 2019*, pp. 3–7, 2019, doi: 10.1109/SOFTT48120.2019.9068649.
- [7] P. Guan et al., "5G field trials: OFDM-based waveforms and mixed numerologies," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 35, no. 6, pp. 1234–1243, 2017, doi: 10.1109/JSAC.2017.2687718.
- [8] 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. 1, pp. 29–34, 2018, doi: 10.1109/ICICTR.2018.8706848. vol. 3, no. 1, Juni, 2019.