



Channel Coding Polar Codes pada Kanal 5G Dipengaruhi Human Blockage pada Frekuensi 2,3 GHz

Arvy Alif Pramudyo Rachman*, Reni Dyah Wahyuningrum, Solichah Larasati

*Teknik Telekomunikasi, Institut Teknologi Telkom Purwokerto,
Jl. DI Panjaitan No.128, Purwokerto, Jawa Tengah 53147, Indonesia*

*Email Penulis Koresponden: 17101130@ittelkom-pwt.ac.id

Abstrak:

Teknologi komunikasi seluler generasi ke-lima (5G) *New Radio* (NR) menggunakan frekuensi yang tinggi dari 1 – 28 GHz yang mengakibatkan teknologi sensitif terhadap redaman seperti *human blockage*. Penelitian ini menganalisis *channel coding polar codes* dengan kanal 5G yang dipengaruhi oleh *human blockage* pada frekuensi 2,3 GHz, *bandwidth* 99 MHz, *Fast Fourier Transform* (FFT) sebesar 128 dengan *Cyclic Prefix- Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (CP-OFDM), dan modulasi *Binary Phase Shift Keying* (BPSK). Penelitian kanal 5G yang dipresentasikan dalam *Representative Power Delay Profile* (PDP) dengan pengaruh *human blockage* yang didapatkan sebanyak 41 *path* yang memiliki *delay* berkelipatan 10 ns pada setiap *path*. Penelitian ini menggunakan metode *scalling* pada *representative* PDP karena penggunaan FFT sebesar 128, hasil *scalling* menunjukkan bahwa terdapat 9 *path* dengan *delay* berkelipatan 50 ns. Hasil dari penelitian ini dievaluasi pada *average Bit Error Rate* (BER) 10^{-4} . Kinerja BER *uncoded* dipengaruhi oleh *human blockage* membutuhkan *Signal to Noise Ratio* (SNR) sebesar 30 dB, teori BER BPSK membutuhkan SNR sebesar 34,5 dB. dan kinerja BER *polar codes* membutuhkan SNR sebesar 23 dB. Hasil ini menunjukkan bahwa *channel coding polar codes* pada frekuensi 2,3 GHz mampu memperkecil pemakaian daya atau nilai SNR dengan gap SNR sebesar 7 dB. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam perkembangan teknologi 5G di Indonesia.

This is an open access article under the [CC BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license



Kata Kunci:

5G;
Power Delay Profile;
Polar codes;
Binary Phase Shift Keying;
Bit Error Rate;
Signal to-Noise Ratio;

Riwayat Artikel:

Diserahkan 31 Agustus 2021
Direvisi 11 Februari 2022
Diterima 24 Mei 2022
Dipublikasi 18 Agustus 2022

DOI:

10.22441/incomtech.v12i2.13225

1. PENDAHULUAN

Teknologi 5G dirancang untuk mendukung berbagai persyaratan yang terkait dengan penggunaan beberapa skenario yang diwakilkan pada segitiga *usage*

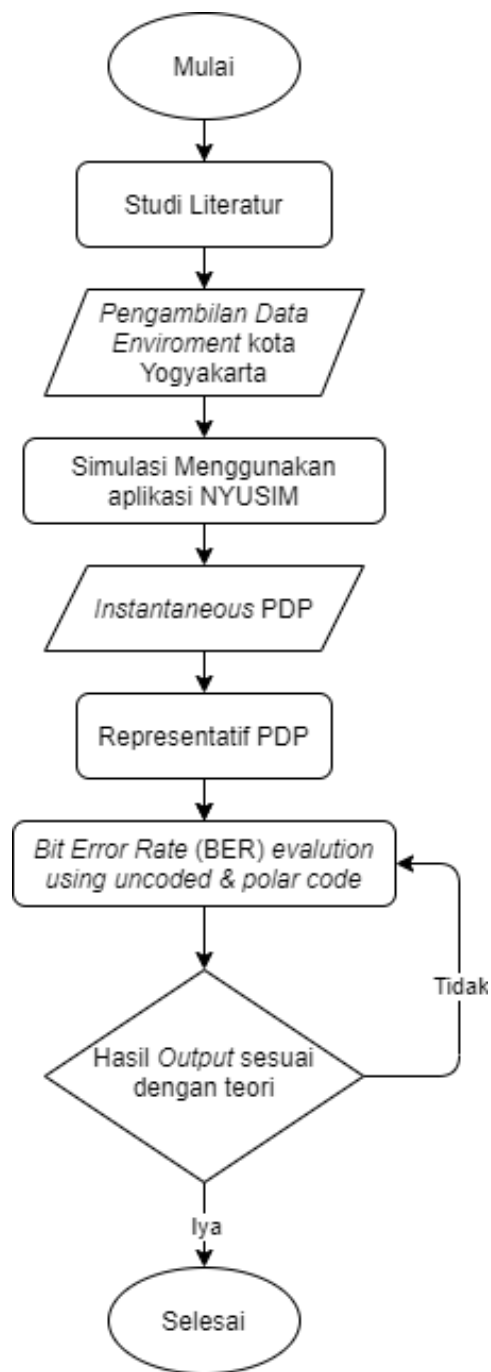
scenario International Telecommunication Union (ITU) yang terdiri dari *enhanced mobile broadband (eMBB)*, *ultra-reliable and low latency communications (URLLC)*, dan *massive machine type communications (mMTC)* [1]. Teknologi 5G menggunakan frekuensi tinggi diantaranya 500 MHz – 100 GHz [2]. Namun keterbatasan pita spektrum yang tersedia saat ini untuk teknologi (2G, 3G, dan 4G) menjadi salah satu faktor pendorong dalam penentuan dan peningkatan pita frekuensi yang baru untuk sistem 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[4], kelembapan[5], tekanan udara, curah hujan dan ketebalan vegetasi [6]. Selain perbedaan dari kondisi alam, salah satu faktor yang harus diperhatikan juga yaitu *human blockage* yang disebabkan adanya hambatan contohnya manusia yang berada di dekat telepon seluler yang menyebabkan terjadinya *shadowing loss* dalam beberapa *millisecond* [7].

Dalam penelitian ini menggunakan kandidat frekuensi terkuat di Indonesia, yaitu frekuensi 2,3 GHz [8]. *Bandwidth* yang digunakan sebesar 99 Mhz yang merupakan *bandwidth* maksimal dari OFDM *numerology* 1. Penggunaan kanal 5G yang dipengaruhi oleh *human blockage* didapatkan melalui simulator *software New York University Simulator (NYUSIM)*. Kemudian, mengevaluasi nilai *Bit Error Rate (BER)*, pengujian BER dilakukan dengan konsep pengkodean kanal *polar codes*. Pengkodean sangat diperlukan dalam sistem komunikasi *wireless*, karena data sangat rentan mengalami *error* selama propagasi. Dalam teknologi 5G, pengkodean kanal yang mencapai *Shannon limit* adalah *polar codes* [9]. *Polar codes* merupakan salah satu jenis *channel coding* yang berfungsi untuk mengoreksi kesalahan pada pengiriman data [10].

Penelitian dilakukan untuk mengetahui bagaimana kinerja BER pada sistem CP-OFDM (*uncoded*) dan BER *polar codes* pada kanal 5G yang dipengaruhi oleh *human blockage*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil kinerja BER *uncoded* dan BER *polar codes* pada kanal 5G yang dipengaruhi oleh *human blockage*, serta menganalisis perbandingan kinerja BER antara *uncoded* dan *polar codes*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran unjuk kerja sistem komunikasi 5G dibawah pengaruh *human blockage* dengan *channel coding polar codes* dan beberapa parameter yang digunakan, sehingga harapannya dapat dijadikan referensi dalam pengembangan teknologi 5G di Indonesia.

2. METODE

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap yaitu tahap perancangan sistem, tahap simulasi, tahap pengujian simulasi, dan yang terakhir adalah tahap analisis dari hasil pengujian simulasi. [Gambar 1](#) menunjukkan *flowchart* dari penelitian ini yang dilakukan.



Gambar 1 *Flowchart* Penelitian

Langkah pertama melakukan studi literatur yang berguna untuk pengembangan teori pada penelitian ini. Langkah kedua adalah pengambilan data lingkungan (suhu, kelembapan, curah hujan, dan tekanan udara) di lingkungan Yogyakarta. Selanjutnya, melakukan simulasi menggunakan simulator NYUSIM untuk mendapatkan *instantaneous PDP*. *Instantaneous PDP* akan dihitung menggunakan simulasi agar mendapatkan *representative PDP*. Langkah kelima, dilakukan perhitungan BER pada sistem CP-OFDM (*uncoded*) dan BER dengan *polar codes*. Hasil BER akan dievaluasi, jika hasil BER *uncoded* dan *polar codes* memiliki *gradient* yang sama dengan teori BPSK, maka penelitian selesai.

2.1. Parameter Environment

Pada penelitian ini menggunakan frekuensi 2,3 GHz dengan *bandwidth* sebesar 99 MHz dengan jarak antara pemancar dan penerima 100 meter dan kanal yang dipengaruhi oleh *human blockage* untuk komunikasi seluler 5G di daerah Yogyakarta. Pada Tabel 1 menunjukkan parameter data yang diperlukan, karena pada frekuensi bergantung dengan kondisi alam seperti suhu, kelembapan, tekanan udara, dan curah hujan. Data lingkungan diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) dan data yang diambil yaitu data bulan Januari-Mei. Data yang sudah diperoleh dari BMKG akan menjadi inputan pada simulator dengan mengambil nilai rata-rata setiap parameter lingkungan.

Tabel 1 Parameter Masukan Simulator

No	Channel Parameter	Nilai
1.	Frequency (GHz)	2,3 GHz
2.	Radio Frequency (RF) Bandwidth	99 MHz
3.	Scenario	Urban Microcell (UMi)
4.	Environment	Non Line of Sight (NLOS)
5.	Tx Power	30 dBm
6.	Tx-Rx Separation Distance Lower Bound	100 Meter
7.	Tx-Rx Separation Distance Upper Bound	100 Meter
8.	Tekanan Udara (Air pressure)	990,1 mbar
9.	Kelembaban (Humidity)	82,5 %
10.	Suhu Udara (Temperature)	26,5 °C
11.	Curah Hujan (Rain Rate)	10,08 mm/hr
12.	Polarization	Co-Pol (Co-Polarization)
13.	Foliage Loss	-
14.	Distance Within Foliage	0 m
15.	Foliage Attenuation	0,4 dB/m
16.	Number of Rx Location	1000

2.2. Instantaneous PDP

Instantaneous PDP merupakan PDP sesaat yang bervariasi terhadap *delay* tertentu dari model kanal dengan skenario *human blockage* dengan masing-masing percobaan 1000 Rx sehingga diperoleh 1000 *Instantaneous PDP* yang bertujuan pada akurasi *representative PDP* dikarenakan nilai *channel* akan berubah-ubah terhadap waktu untuk perhungan kapasitas dan *channel*. Berdasarkan simulasi menggunakan simulator dapat dihasilkan *instantaneous PDP* pada sumbu x menunjukkan *delay* (ns) pada tiap *path* dan sumbu y menunjukkan daya (dBm).

2.3. Representative PDP

Representative PDP adalah intensitas berasal dari sinyal yang diterima *receiver* melalui *multipath channel* dengan waktu *delay*. *Representative* PDP pada penelitian ini adalah hasil-hasil dari perhitungan setelah mendapatkan *instantaneous* PDP. Berikut langkah-langkah yang dilakukan dalam mempresentasikan PDP yang sudah dilakukan pada penelitian[11]:

1. Pembulatan untuk setiap PDPi dengan rentang pembulatan adalah $\Delta T \leq 1/B$ penelitian menggunakan *bandwidth* (B) sebesar 99 MHz, oleh karena itu $\Delta T \approx 10$ ns.
2. Tambahkan semua jalur τ tunda waktu yang sama untuk semua PDPi.
3. Menggunakan persentil *Cumulative Distribution Function* (CDF) sebesar 90 dari power semua yang sesuai PDP.
4. Menggunakan *threshold* -140 dB dari *representative* PDP. *Threshold* diasumsikan sebagai perangkat sensitifitas 5G NR masa depan di Indonesia.
5. Menggunakan *Scaling method* untuk mendapatkan ukuran FFTsize yang dibutuhkan (FFTori) agar semua *path* yang diperoleh dapat memenuhi persyaratan panjang CP harus lebih besar atau sama dengan total *path* asli ($Q \geq \Sigma Path_{ori}$). Pada penelitian ini menggunakan FFTsize sebesar 128 maka, *scaling method* dapat dihitung dengan persamaan 1.

$$\begin{aligned} \sum Path_{modif} &= \frac{FFT_{modif}}{FFT_{real}} \cdot PDP_{real} & (1) \\ &= \frac{128}{570} \cdot 41 \\ &= 9.20 \approx 9 path \end{aligned}$$

6. Normalisasi *path* untuk mendapatkan PDP akhir atau *representative* PDP.

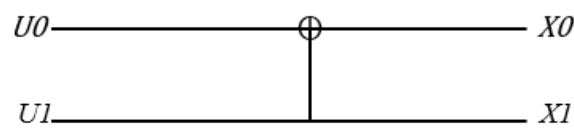
2.4. Validasi Bit Error Rate (BER)

Dalam transmisi digital, rasio *error* adalah rasio jumlah *bit*, elemen, karakter ataupun blok yang dikirim sepanjang interval waktu tertentu. Rasio yang sering ditemui adalah BER. Jumlah *bit error* (ΣBit_{error}) adalah jumlah *bit* yang diterima yang telah berubah pada saluran komunikasi karena *noise*, *distorsi*, *fading*, *interferensi* atau *bit synchronization redundancy*. Dengan kata lain BER didefinisikan sebagai rasio dari *bit error* yang diterima dengan *bit* yang ditransmisikan ($\Sigma Bit_{transmitted}$) dalam sistem transmisi dalam interval waktu. BER dapat dirumuskan dalam persamaan 2 [12].

$$BER = \frac{\sum Bit_{error}}{\sum Bit_{transmitted}} \quad (2)$$

2.5. Polar Codes

Polar codes merupakan salah satu jenis *channel coding* yang berfungsi untuk mengoreksi kesalahan pada pengiriman data. Konstruksi kode berdasarkan pada beberapa pengulangan dari rangkaian kode kernel yang mengubah kanal fisik menjadi kanal virtual. Ketika jumlah rekursif banyak, kanal virtual cenderung memiliki reliabilitas tinggi atau rendah disebut dengan polarisasi. Oleh karena itu, teknik pengkodean kanal ini disebut dengan *polar codes*. *Polar codes* diklarifikasikan dalam *linear block codes* berdasarkan fenomena yang dikenal sebagai polarisasi kanal. *Polar codes* pertama kali diketahui mampu mencapai kapasitas *Shannon* untuk *input Binary Discrete Memoryless Channel (BDMC)*[13]. Gambar 2 menunjukkan struktur *polar codes* jika memiliki panjang blok sebanyak 2 bit. U_0, U_1 , merupakan bit yang dikirim yang akan dioperasikan dengan $X \oplus R$ dan menghasilkan *output* bit X_0, X_1 .



Gambar 2. Struktur Polar Code dengan Panjang Blok 2 Bit

2.6. Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

OFDM merupakan suatu skema *multiplexing* yang bagus sebagai transmisi data yang berkecepatan tinggi dan kuat untuk melewati kanal *multipath fading*. OFDM mempunyai toleransi antar *sub channel* yang satu dengan yang lainnya tidak saling mengganggu. Setiap data dikirim dengan CP untuk menghindari *inter-symbol interference (ISI)* dan *inter-channel interference (ICI)* [14].

2.6.1 Numerology OFDM

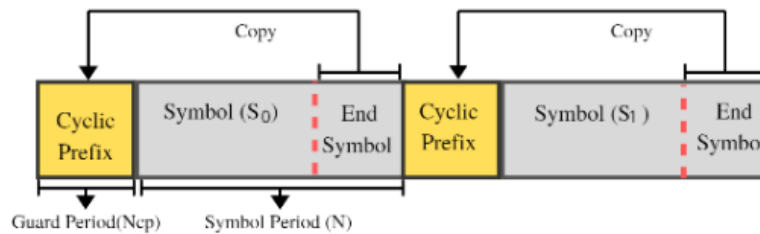
Penerapan teknologi radio akses 5G NR mempunyai opsi kategori frekuensi di bawah 6 GHz maka dibutuhkan *support* layanan yang beda. OFDM tidak dapat memenuhi kebutuhan dari performansi semua rentang frekuensi yang diimplementasikan sehingga diperlukannya *numerology* OFDM untuk 5G *radio access technology (RAT)* yang dikeluarkan oleh 3Gpp yang diperlihatkan pada Tabel 2[15]. Pada penelitian ini menggunakan OFDM *numerology* 1 [16]:

Tabel 2 Numerology OFDM pada 5G

Parameter/Nurmerology (μ)	0	1	2	3	4
Subcarrier Spacing (KHz)	15	30	60	120	240
OFDM Symbol Duration (μ s)	66.67	33.33	16.67	8.33	4.17
Cylic Prefix Duration (μ s)	4.69	2.34	1.17	0.57	0.29
OFDM Symbol incl. CP (μ s)	71.35	35.68	17.84	8.92	4.46
Bandwidth minimum (MHz)	4.32	8.64	17.28	34.56	69.12
Bandwidth maximum (MHz)	49.5	99	198	396	397.44

2.6.2 Cyclic Prefix

Cyclic prefix yang berfungsi sebagai *guard interval* yang memastikan semua simbol OFDM terkirim secara lengkap dalam interval *Fast Fourier Transform* (FFT) dengan waktu tunda yang sama. Hal ini dapat menjaga *orthogonalitas* dari sinyal OFDM. *Cyclic prefix* juga dapat melakukan penggandaan sebagai simbol *prefix* pada bagian akhir simbol OFDM yang ditunjukkan pada Gambar 3. Dengan adanya *cyclic prefix* dapat menghilangkan *inter symbol interference* (ISI) dengan syarat durasi CP lebih besar dari *delay spread* atau dengan kata lain panjang CP diusahakan lebih besar atau sama dengan jumlah *path* dalam *power delay profile* (PDP) agar sistem terbebas dari ISI [17].



Gambar 3. Ilustrasi Cyclic Prefix

2.7. Modulasi Binary Phase Shift Keying (BPSK)

Modulasi adalah proses perubahan suatu gelombang periodik sehingga menjadikan suatu sinyal mampu membawa suatu informasi. Modulasi BPSK merubah bit yang ditransmisikan menjadi bentuk simbol – simbol yang dinyatakan oleh:

$$S(t) = m(t)c(t) \tag{3}$$

$$S_i(t) = \begin{cases} S_1(t) = -A \cos(2\pi f_c t), & t = 0 \\ S_2(t) = +A \cos(2\pi f_c t), & t = 1 \end{cases} \tag{4}$$

Dengan $m(t)$ adalah sinyal modulasi, $c(t)$ adalah sinyal pembawa. Secara praktikal modulasi BPSK tersebut dapat dinyatakan dengan $S(i) = 1 - 2*t(i)$ atau sama dengan bit 0 menjadi sinyal digital +1, dan bit 1 berubah menjadi sinyal digital -1[9].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kanal 5G

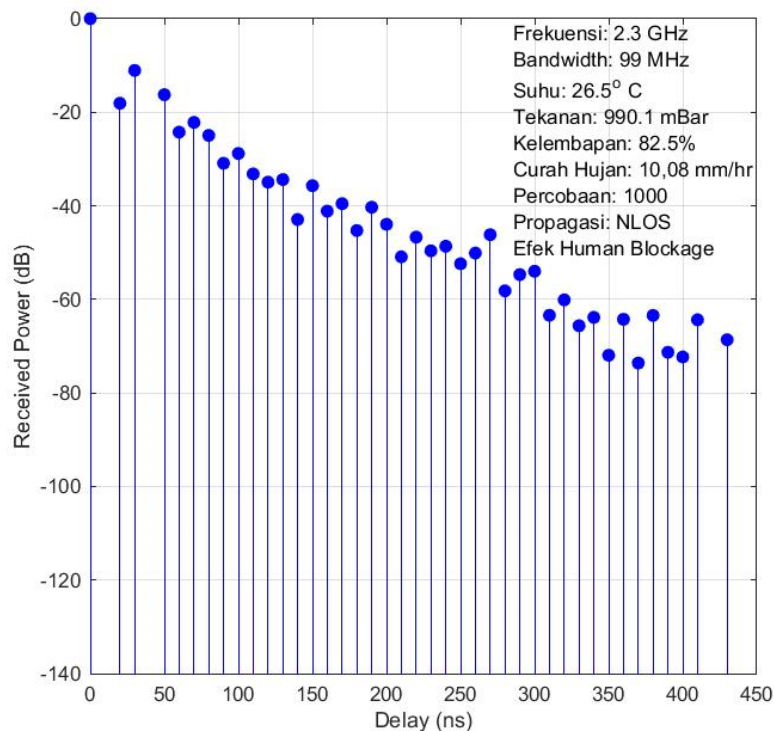
Kanal 5G *multipath fading* disimulasikan menggunakan frekuensi kerja sebesar 2.3 GHz dan *bandwidth* sebesar 99 MHz. Kanal direpresentasikan dengan PDP dimana menggunakan skenario yang dipengaruhi oleh *human blockage* dan data *environment* parameter yang digunakan, diperoleh dari BMKG Kota Yogyakarta dari rentang waktu Bulan Januari – Mei 2021. *Environment* parameter data yang digunakan dalam penelitian ini sudah dijelaskan pada Tabel 1.

Setelah memperoleh data *instantaneous* PDP yang bervariasi dari simulator, kemudian data – data tersebut diolah menjadi usulan *representative* PDP yang bisa mewakili kanal 5G dengan menggunakan skenario dipengaruhi oleh *human*

blockage. Pengolahan data *instantaneous* PDP menjadi data *representative* PDP terdapat pada Sub Bab 2.3. Hasil data yang diperoleh dari simulasi dengan 1000 *receiver* pada aplikasi NYUSIM didapatkan *instantaneous* PDP1 sampai dengan PDP1000 dengan skenario dipengaruhi oleh *human blockage*.

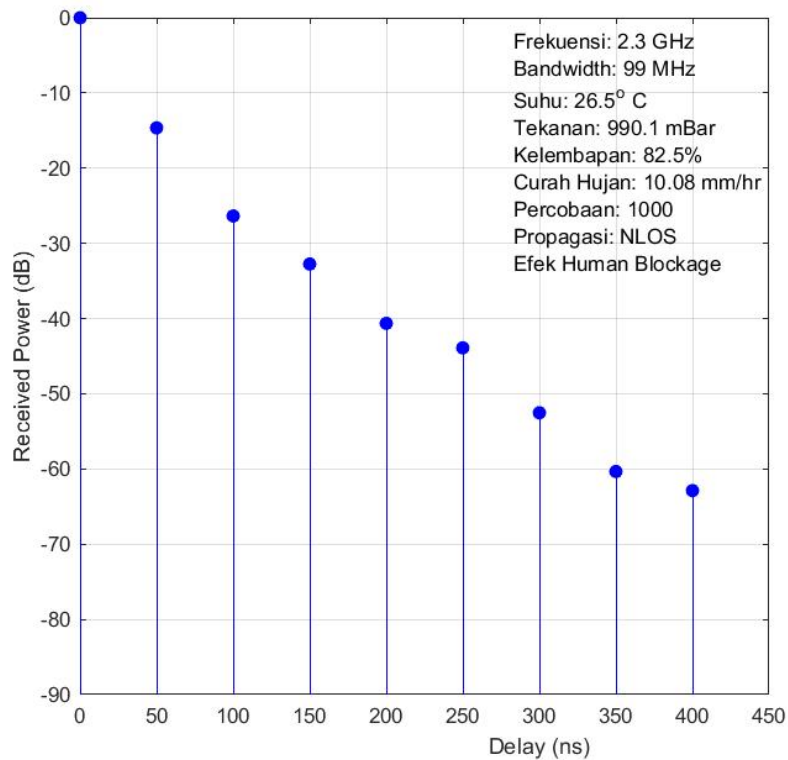
Selanjutnya, data *instantaneous* PDP1 sampai PDP1000 dihitung untuk mendapatkan nilai *timeslot delay* (τ) per *path* dari PDP agar dikelompokkan ke dalam *grouping indeks* (α) untuk mengelompokkan tiap *interval* 10 ns (1-10 ns, 11-20 ns, 21-30 ns, dst) pada τ . Setiap *timeslot* 1 yang berisi rata-rata *path* daya pada seluruh PDP kemudian menghitung CDF dengan persentil 90. Selanjutnya dilakukan *thresholding* sebesar -140 dB yang diasumsi sebagai sensitivitas *device* 5G di Indonesia.

Setelah melakukan proses *thresholding* mendapatkan *representative* PDP sebesar 41 *path* pada skenario *human blockage*. Pada setiap *path representative* PDP memiliki *delay* berkelipatan sebesar 10 ns. Pada Gambar 4 menunjukkan *representative* PDP kanal 5G yang dipengaruhi oleh *human blockage*.



Gambar 4. *Representative* PDP kanal 5G dipengaruhi *Human Blockage*

Pada penelitian ini menggunakan *FFTsize* sebesar 128, sehingga diperlukan metode *scalling* pada *representative* PDP. Metode *scalling* dapat dihitung dengan persamaan 1. Gambar 5 menunjukkan PDP modifikasi kanal 5G yang dipengaruhi oleh *human blockage* dimana jumlah *path* menjadi 9 *path* dengan *delay* berkelipatan 50 ns setelah dilakukan modifikasi. Untuk informasi daya PDP modifikasi ditunjukkan pada Tabel 3. PDP modifikasi menjadi inputan pada sistem karena sudah sesuai dengan *FFTsize* sebesar 128. Hasil nilai *representative* PDP modifikasi yang dihasilkan dikonversikan dari bentuk dB ke dalam bentuk numerik untuk mempermudah melakukan simulasi pada sistem.

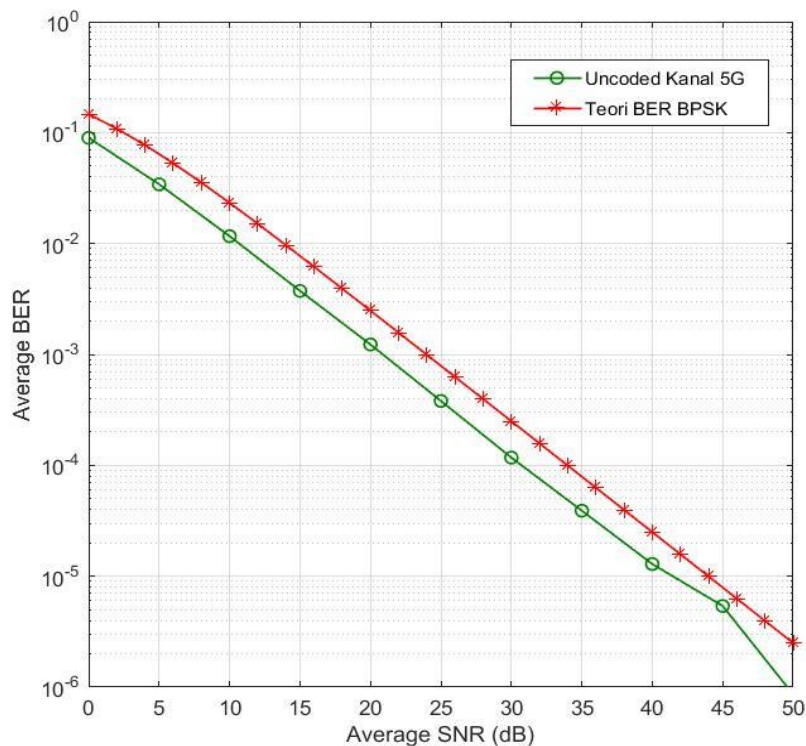
Gambar 5. PDP Modifikasi kanal 5G dipengaruhi *Human Blockage*Tabel 3. Daya dan *Delay* PDP Modifikasi Konversi dB ke Numerik

<i>Path</i>	<i>Delay</i> (ns)	<i>Power</i> (dB)	<i>Power</i> (numerik)
1	0	0	1
2	50	-14.64191273	0.034340667
3	100	-26.35423747	0.002315135
4	150	-32.7515747	0.000530692
5	200	-40.63742648	8.6349×10^{-5}
6	250	-43.89324626	4.08014×10^{-5}
7	300	-52.53551028	5.57762×10^{-6}
8	350	-60.34015907	9.24664×10^{-7}
9	400	-62.88476574	5.14664×10^{-7}

3.2 Kinerja *Bit Error Rate (BER) Uncoded*

Pada penelitian ini mengevaluasi dan menampilkan kinerja BER dengan menggunakan CP-OFDM (*uncoded*) dari kanal 5G di bawah pengaruh *human blockage* menggunakan *coding rate* $R=1$ dengan *FFTsize* 128, penelitian ini membandingkan hasil kinerja BER *uncoded* dengan teori BER BPSK dalam *Signal to-Noise Ratio (SNR)*.

Gambar 6 dan Tabel 4 menunjukkan hasil kinerja BER *uncoded* pada kanal 5G menggunakan skenario dibawah pengaruh *human blockage*. Untuk mencapai *average* BER sebesar 10^{-4} , hasil dari kinerja teori BER BPSK membutuhkan SNR sebesar 34,5 dB. Sedangkan BER *uncoded* membutuhkan SNR sebesar 30 dB pada saat *average* BER sebesar 10^{-4} . Jadi *gap* antara kurva kinerja BER *uncoded* dengan kurva teori BER BPSK memiliki rentang SNR sebesar 4,5 dB. Kondisi ini menunjukkan bahwa kinerja BER *uncoded* pada skenario dibawah pengaruh *human blockage* mempunyai hasil kinerja yang lebih bagus dibandingkan hasil kinerja teori BER BPSK. Karena semakin kecil nilai *average* SNR yang digunakan maka menunjukkan semakin bagus hasil kinerjanya sistem CP-OFDM.



Gambar 6. Perbandingan Kinerja BER Uncoded dengan Teori BPSK

Tabel 4. Perbandingan Hasil Kinerja BER Uncoded pada R=1, Average BER 10^{-4} antara Teori BER BPSK

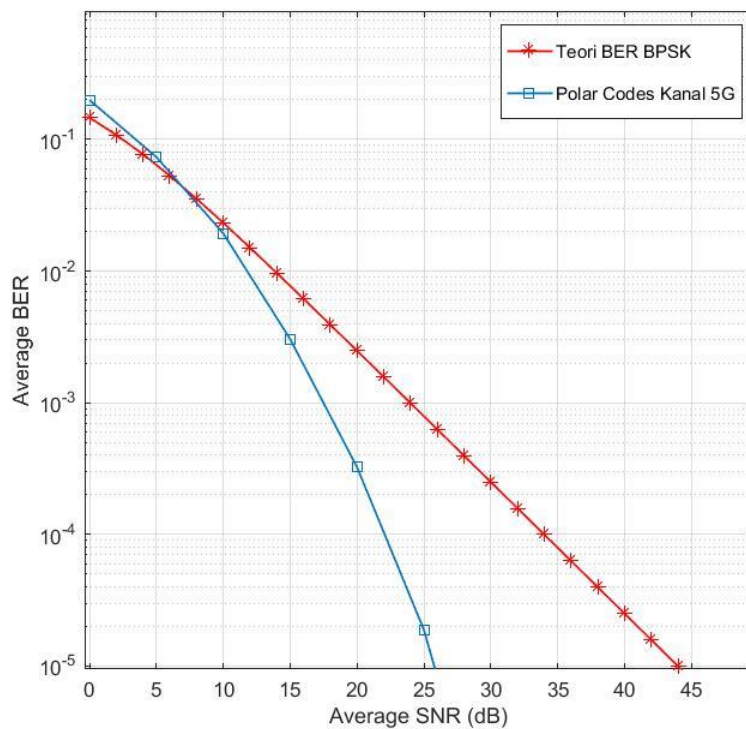
Average BER	Average SNR (dB)	
	BER Uncoded	Teori BER BPSK
10^{-4}	30 dB	34,5 dB

4.3 Kinerja Bit Error Rate (BER) Polar Codes

Penelitian ini mengevaluasi dan menampilkan hasil dari *channel coding* kinerja BER *polar codes* dari kanal 5G di bawah pengaruh *human blockage*. Dalam simulasi ini menggunakan *coding rate* $R=1/2$, modulasi BPSK, FFTsize 128 dengan percobaan sebanyak 500.000 iterasi, dan menggunakan CP-OFDM *numerology* 1

dengan panjang CP sebesar 9. Penelitian ini membandingkan antara hasil kinerja BER *polar codes* dengan teori BER *fading* BPSK dalam *average Signal to Noise Ratio* (SNR). Kurva kinerja BER *polar codes* yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 7 dengan sumbu x adalah *average SNR* dan sumbu y adalah *average BER*. *Polar codes* pada kanal 5G diwakilkan dengan garis biru utuh dengan *marker* kotak, sedangkan teori BER BPSK diwakilkan dengan garis merah utuh *marker* ‘*’.

Tabel 5 menunjukkan hasil kinerja BER *polar codes* pada kanal 5G skenario *human blockage*. Saat mencapai *average BER* 10^{-4} , hasil kinerja BER *polar codes* menunjukkan nilai SNR sebesar 23 dB. Sedangkan untuk teori BER BPSK pada saat *average BER* 10^{-4} nilai SNR sebesar 34,5 dB. Hasil ini menunjukkan bahwa *gap* antara kurva BER *polar codes* dengan kurva teori BER BPSK memiliki rentang SNR sebesar 11,5 dB, jika dilihat dari penggunaan *average BER* yang dibutuhkan pada titik 10^{-4} . Kondisi ini menunjukkan bahwa kinerja BER *polar codes* pada skenario *human blockage* mempunyai hasil kinerja yang lebih bagus dibandingkan hasil kinerja teori BER BPSK. Karena semakin kecil nilai *average SNR* yang digunakan maka semakin bagus hasil kinerja dari sistem CP-OFDM dengan *polar codes*.



Gambar 7. Perbandingan Kinerja BER *Polar codes* dengan Teori BPSK

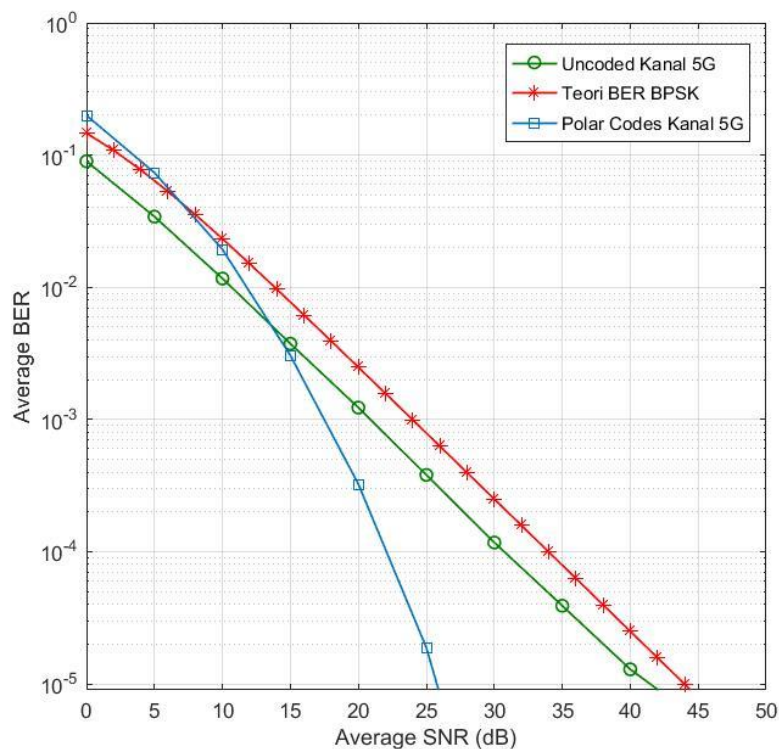
Tabel 5. Perbandingan Hasil Kinerja BER *polar codes* pada R=1/2, Average BER 10^{-4} antara Teori BER BPSK

Average BER	Average SNR (dB)	
	BER <i>Polar Codes</i>	Teori BER BPSK
10^{-4}	23 dB	34,5 dB

3.4 Perbandingan BER *Uncoded* dan BER *Polar Codes*

Penelitian ini mengevaluasi dan menampilkan kinerja BER dari kanal 5G dengan skenario di bawah pengaruh *human blockage*. Penelitian ini membandingkan antara hasil kinerja BER *uncoded* dengan hasil kinerja BER yang sudah ditambahkan *channel coding* yaitu *polar codes*. Pada Gambar 8 menunjukkan hasil kurva kinerja BER *uncoded*, BER *polar codes* dan teori BER BPSK. Sumbu x mewakili average SNR dari 0 – 50 dB dan sumbu y mewakili average BER dari 10^0 – 10^{-5} . Dalam kurva tersebut dimana masing-masing memiliki nilai *average Signal to Noise Ratio* (SNR) yang berbeda. Garis merah utuh dengan marker “*” mewakili teori BER BPSK, garis hijau utuh dengan marker bulat mewakili grafik BER *uncoded*, dan garis biru utuh dengan marker kotak mewakili grafik BER *polar codes*.

Pada Tabel 6 ditunjukkan hasil perbandingan kinerja BER *uncoded* dan BER *polar codes* pada skenario dipengaruhi oleh *human blockage*. Pada saat mencapai titik *average BER* 10^{-4} , hasil kinerja BER *uncoded* menunjukkan nilai *average SNR* sebesar 30 dB. Sedangkan untuk hasil kinerja BER *polar codes* pada saat mencapai titik *average BER* 10^{-4} , menunjukkan nilai *average SNR* sebesar 23 dB.



Gambar 8. Perbandingan Kinerja BER *Uncoded* dengan BER *Polar Codes*

Tabel 6. Perbandingan Hasil Kinerja BER *Uncoded* pada R=1, Average BER 10^{-4} antara BER *Polar Codes* pada R=1/2

Average BER	Average SNR (dB)		
	BER <i>Uncoded</i>	BER <i>Polar Codes</i>	Teori BER BPSK
10^{-4}	30 dB	23 dB	34,5 dB

Hasil kinerja menunjukkan bahwa *gap* antara kurva BER *uncoded* dan BER *polar codes* pada titik BER 10^{-4} memiliki rentang SNR sebesar 7 dB. Kondisi ini menunjukkan bahwa hasil kinerja BER *polar codes* lebih bagus dibandingkan hasil kinerja BER *uncoded*. Sebab kinerja BER *polar codes* sudah ada penambahan *channel coding* yaitu *polar codes* yang berguna untuk memperkecil nilai SNR dibandingkan hasil nilai SNR kinerja BER *uncoded* dan teori BER BPSK. *Polar codes* merupakan *strong coding* yang dapat menghemat SNR, maka diharapkan penelitian ini dapat menjadi referensi untuk perkembangan 5G di Indonesia.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan mengenai *channel coding polar codes* dengan skenario dipengaruhi oleh *human blockage*. Penelitian ini diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Pada *average* BER 10^{-4} , hasil kinerja BER *uncoded* pada kanal 5G dipengaruhi oleh *human blockage* membutuhkan nilai SNR sebesar 30 dB. Sedangkan hasil dari kinerja teori BER memiliki *gap* antara kurva kinerja BER *uncoded* dipengaruhi oleh *human blockage* dengan kurva kinerja teori BER BPSK memiliki rentang SNR sebesar 3,5 dB.
2. *Gap* antara kurva kinerja BER *polar codes* yang dipengaruhi oleh *human blockage* dengan kurva kinerja teori BER BPSK memiliki rentang SNR sebesar 11,5 dB.
3. Hasil kinerja BER *uncoded* membutuhkan nilai SNR sebesar 30 dB. Sedangkan untuk hasil kinerja BER *polar codes* membutuhkan nilai SNR sebesar 23 dB. Hasil kinerja pada BER teori BPSK sebesar 34,5 dB. Hasil ini menunjukkan bahwa *gap* antara kurva kinerja BER *uncoded* dan BER *polar codes* memiliki rentang SNR sebesar 7 dB. Kondisi ini menunjukkan bahwa hasil kinerja BER *polar codes* lebih bagus dibandingkan hasil kinerja BER *uncoded*. Hal ini dikarenakan kinerja BER *polar codes* sudah ada penambahan *channel coding* yaitu *polar codes* yang berguna untuk memperkecil nilai SNR dibandingkan hasil nilai SNR kinerja BER *uncoded* dan teori BER BPSK.

REFERENSI

- [1] 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.
- [2] K. Haneda *et al.*, "5G 3GPP-like channel models for outdoor urban microcellular and macrocellular environments," *IEEE Veh. Technol. Conf.*, vol. 2016-July, no. May, 2016, doi: 10.1109/VTCSpring.2016.7503971.
- [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] 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.
- [5] 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.
- [6] E. M. Alfarooby, 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.
- [7] 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.
- [8] F. Setu, "Kominfo Refarming pita frekuensi 2,3 GHz di 9 klaster.," *kominfo*, 2021. https://www.kominfo.go.id/conten/detail/35730/siaran-pers-n0-242hmkominfo072021-tentang-tingkatan-kualitas-konektivitas-digital-menteri-johnny-konminfo-mulai-refarming-di-9-klaster/0/siaran_pers.
- [9] O. R. L. Handoko, "Studi Parameter Bhattacharyya untuk *Polar Codes* Blok Pendek dan Menengah Di Kanal Awgn Dan Rayleigh Fading," Institut Teknologi Telkom Purwokerto, 2021.
- [10] N. I. Pratiwi, A. A. Muayyadi, and U. K. Usman, "Perbandingan Performansi Polar Code dan Repetition Code Terhadap Kanal Multipath pada Sistem Komunikasi 5G," *Theta Omega J. Electr. Eng. Comput. Inf. Technol.*, no. 34, 2020.
- [11] 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.
- [12] R. D. Wahyuningrum, "Telkom University 5G Channel Model Considering Humidity Effects a Master ' S Thesis Approval Page a Master ' S Thesis," 2020.
- [13] A. Sharma, "Polar Code : The Channel Code Contender for 5G Scenarios," pp. 676–682, 2017.
- [14] 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.
- [15] Technical Specification, "TS 138 211 - V16.3.0 - 5G; NR; Physical channels and modulation (3GPP TS 38.211 version 16.3.0 Release 16)," vol. 0, 2020, [Online]. Available: <https://portal.etsi.org/TB/ETSIDeliverableStatus.aspx>.
- [16] 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.
- [17] J. Yli-Kaakinen *et al.*, "Frequency-Domain Signal Processing for Spectrally-Enhanced CP-OFDM Waveforms in 5G New Radio," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, pp. 1–17, 2021, doi: 10.1109/TWC.2021.3077762.