

## PERBANDINGAN PERFORMANSI *POLAR CODE* DAN *REPETITION CODE* TERHADAP KANAL *MULTIPATH* PADA SISTEM KOMUNIKASI 5G

Nadya Indah Pratiwi<sup>1</sup>, Achmad Ali Muayyadi<sup>2</sup>, Uke Kurniawan Usman<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung

Email: nadyaindahpratiwiii@student.telkomuniversity.ac.id

### ABSTRAK

Kebutuhan kecepatan data yang tinggi, *latency* yang rendah merupakan tantangan yang akan dihadapi oleh teknologi seluler generasi kelima (5G). Pengkodean kanal sangat diperlukan untuk mengurangi *error* dan deteksi *error* agar performansi sistem komunikasi 5G yang didapatkan dapat mencapai standardisasi Teknologi 5G yaitu *low latency* dan *high speed data rate*. Salah satu teknik pengkodean kanal 5G. Teknik pengkodean kanal sederhana yang umum digunakan pada sistem komunikasi yaitu *Repetition Code*. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian mengenai seberapa efektif dari kedua teknik pengkodean kanal tersebut untuk *error corection* pada sistem komunikasi 5G. Jurnal ini melakukan simulasi dan analisis teknik pengkodean *Polar Code* dan *Repetition Code* pada pemodelan kanal 5G *Multipath* dengan menggunakan modulasi 16 QAM dan menggunakan teknik *multicarrier CP-OFDM Numerology 2*. Selain itu jurnal ini melakukan simulasi dan analisis pemodelan kanal 5G dengan parameter lingkungan Kota Bandung dan spesifikasi sistem 5G dengan frekuensi kerja 28 GHz. Hasil pemodelan kanal menghasilkan 9 *path* dengan nilai *mean excess delay* sebesar 5,039 ns dan *RMS delay spread* sebesar 22,747 ns. Pada *Repetition Code* nilai BER yang dihasilkan yaitu  $1 \times 10^{-4}$  pada Eb/No 34.62 dB dan pada *Polar Code* dengan BER=0 pada Eb/No > 20 dB. Nilai FER yang dihasilkan *Polar Code* jauh lebih rendah, pada Eb/No 19,8 dB yaitu  $6,13 \times 10^{-3}$  sedangkan *Repetition Code* yaitu  $3,66 \times 10^{-1}$ . Sehingga Teknik *Channel Coding* yang efektif untuk menurunkan bit *error* dan frame *error* pada sistem komunikasi 5G adalah *Polar Code*.

**Kata kunci** : *Polar Code*, *Repetition Code*, 5G, OFDM.

### ABSTRACT

Requirement on high data rates and low latency are a challenges that will be occurred by fifth generation cellular technology (5G). Channel coding has function to reduce and detect errors that will make performance obtained achieves the standardization of 5G Technology. One of the 5G channel coding techniques recommended by 3GPP is Polar Code. Currently, almost communication system are running by Repetition Code for channel coding technique. Based on that requirement, it is necessary to study the effectiveness of the two channel coding techniques for error correction in the 5G communication system. The journal provide the simulation and analysis of Polar Code and Repetition Code coding techniques on modeling 5G Multipath channels using 16 QAM modulation and using CP-OFDM Numerology multicarrier technique 2. In additional, the journal provide the simulation and analysis of 5G channel modeling with Bandung City as parameters and 5G system specifications with 28 GHz frequency. The output of channel modeling generates 9 paths with mean excess delay of 5.039 ns and RMS delay spread of 22.747 ns. On Eb / No 34.62 dB BER generated by Repetition Code is  $1 \times 10^{-4}$ , while on Eb/No > 20 dB BER generated by Polar Code is 0. On Eb/No 19,8 dB FER generated by Polar Code is  $6,13 \times 10^{-3}$ . While, FER generated by Repetition Code is  $3,66 \times 10^{-1}$ . Based on FER comparison, value of Polar Code is lower than Repetition Code. It evinces that Polar Code is more effective to reduce bit error and frame error in 5G communication systems.

## PENDAHULUAN

Kebutuhan kecepatan data yang tinggi atau enhanced Mobile Broadband (eMBB), *latency* yang rendah atau *ultra-reliable and low latency communication* (URLLC) dan perangkat terhubung ke jaringan dalam jumlah yang banyak atau *massive machine type communication* (mMTC) merupakan 3 skenario utama teknologi seluler generasi kelima atau 5G [4].

Selain itu komunikasi *Milimeter-Wave* (*mmWave*) menjadi kandidat yang dapat memenuhi ketiga skenario tersebut. *MmWave* bekerja pada frekuensi 6-100 GHz, yang mana salah satu kandidat frekuensi yang akan digunakan yaitu 26, 28 dan 36 GHz. *MmWave* digunakan untuk *small cell* atau sel kecil yang mana memiliki jangkauan atau panjang gelombang yang pendek, sehingga sinyal yang datang merupakan sinyal *multipath propagation* atau sinyal yang diterima *user* berasal dari jalur yang berbeda-beda. Pengkodean kanal sangat diperlukan untuk mengurangi *error* dan sebagai deteksi *error* agar performansi sistem yang didapatkan mencapai standarisasi Teknologi 5G. Salah satu teknik pengkodean kanal yang direkomendasikan oleh 3GPPP adalah *Polar Code*. Teknik pengkodean kanal sederhana yang umum digunakan pada sistem komunikasi yaitu *Repetition Code*. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian mengenai seberapa efektif teknik pengkodean kanal tersebut dapat menekan terjadinya *error*.

Tabel 1. Spesifikasi Teknologi 5G [8]

| Parameter                  | Nilai   |
|----------------------------|---|
| Bandwidth                  | 49,5 MHz, 99 MHz, 198 MHz, 396 Mhz, 397,4 MHz |
| Peak Data Rate             | 20 Gbps                                       |
| User Experienced Data rate | 0.1 – 1 Gbps                                  |
| Latency                    | 1 ms  |
| Modulasi                   | BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM              |
| Frekuensi Operasi          | < 6 GHz ( 3,4-3,6 GHz) dan > 6 GHz (24,       |

|                |                            |
|----------------|----------------------------|
|                | 26,28,36 GHz)              |
| Waveform       | OFDM, GFDM, FBMC, dan UFMC |
| Channel Coding | Polar Code dan LDPC        |

Salah teknik modulasi multicarrier yang dikandidatkan pada Teknologi 5G yaitu *cyclic prefix Orthogonal Frequency Digital Multiplexing* atau CP-OFDM yang sudah terbukti dapat mengurangi terjadinya *inter-symbol interference* (ISI) dan *inter-carrier interference* (ICI).

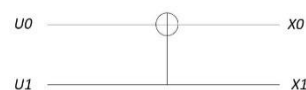
Jurnal ini melakukan simulasi dan analisis teknik penkodean *Polar Code* dan *Repetition Code* pada pemodelan kanal 5G *Multipath* dengan menggunakan modulasi 16QAM dan menggunakan teknik multicarrier CP-OFDM. Selain itu jurnal ini melakukan simulasi dan analisis pemodelan kanal 5G menggunakan parameter lingkungan Kota Bandung dan spesifikasi sistem 5G.

## METODE

### 1. Konsep Pengkodean Kanal

#### a. *Polar Code*

*Polar code* 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, dan disebut dengan polarisasi. Oleh karena itu, teknik pengkodean kanal ini disebut dengan *polar code*. *Polar code* diklasifikasikan dalam linier *block codes* berdasarkan fenomena yang dikenal sebagai polarisasi saluran. *Polar code* pertama kali diketahui mampu mencapai kapasitas shannon untuk input *Binary Discrete Memoryless Channel* (BDMC) [1].



Gambar 1. Konstruksi Encoder *Polar Code*

Dirumuskan dengan:

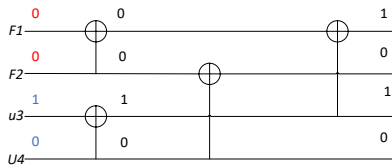
$$[X_1 \ X_2] = [U] \ [G_m]$$

$$= [U_1 \ U_2] \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \\ = [U_1 \oplus U_2 \ U_2], \quad (1)$$

dimana  $U$  adalah bit yang masuk terdiri atas bit informasi dan bit frozen,  $X$  adalah hasil operasi XOR antara bit  $U$  atau hasil dari proses encoding, sementara  $G_m$  adalah matriks generator yang dapat meluas berdasarkan hasil pemangkatan kronecker  $k$  sesuai dengan panjang bloknya yang dinyatakan dengan

$$G_N = G_2^{\oplus k} \\ G_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \\ G_4 = \begin{bmatrix} G_2 & G_2 \\ G_2 & G_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Berikut merupakan contoh perhitungan XOR pada kernel polar code.

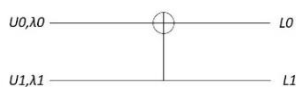


Gambar 2. Contoh Encoder Polar Code dengan Panjang Blok 4 Bit [7].

Gambar 3 merupakan contoh Polar Code sepanjang 4 bit, dengan input = [0010], dan menghasilkan bit *encoded* = [1010] yang dapat dihitung dengan operasi

$$X_n = U_n \times G_n \\ X_n = [0 \ 0 \ 1 \ 0] \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ X_n = [1 \ 0 \ 1 \ 0]. \quad (3)$$

*Polar decoder* adalah teknik ekstraksi bit atau data informasi dari *encoded* data signaling diterima di *receiver*, yang diharapkan adalah hasil proses *decoding* ini mendapatkan bit yang sama sesuai dengan bit yang dikirimkan.



Gambar 3. Dasar *decoding Polar Code* [8].

Proses pada Gambar 4 dapat dijelaskan secara sederhana dengan persamaan berikut.

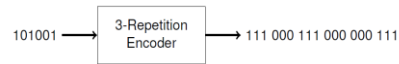
$$\lambda_0 = f_0(L_0, L_1) = L_0 \oplus L_1 \\ = \tanh^{-1} \left( \tanh \frac{L_0}{2} \tanh \frac{L_1}{2} \right) \\ = \text{sign}(L_0) * \text{sign}(L_1) * \min\{|L_0|, |L_1|\}, \quad (4)$$

$$\lambda_1 = f_1(U_0, L_0, L_1) \\ = (f_1)^{U_0} * L_0 + L_1, \quad (5)$$

dimana  $U$  merupakan bit informasi,  $F$  merupakan bit *frozen*,  $L$  merupakan bit hasil *decoding* dan  $\lambda$  merupakan rumus *decoding*.

### b. Repetition Code

Repetition Code adalah salah satu error correcting codes yang paling sederhana diantara error correcting codes yang ada. Konsep dasar dari repetition code adalah mengulang pesan beberapa kali. Repetition codes mampu memulihkan pesan yang hilang saat melawati noise channel. Selain itu, daya tarik utama dari Repetition codes adalah mudah untuk diimplementasikan sebab memiliki kompleksitas yang rendah[7].



Gambar 4. Konsep *Repetition Code*

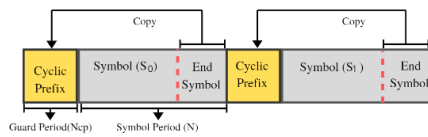
Tabel 2. Contoh *encoder repetition codes*

| Coding Rate | Message bit | Encoded data |
|-------------|-------------|--------------|
| 1/3         | 0           | 000          |
|             | 1           | 111          |
| 1/5         | 0           | 00000        |
|             | 1           | 11111        |

## 2. Cyclic Prefix Orthogonal Frequency Division Multiplexing (CP-OFDM)

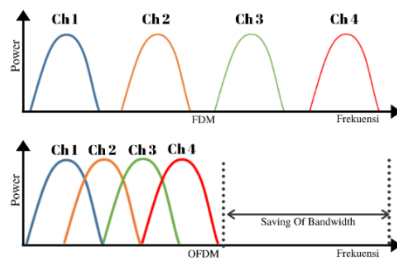
Dalam OFDM tiap data yang dikirim diberikan *cyclic prefix*, yang mana digunakan sebagai *guard interval*. *Cyclic prefix* (CP) merupakan pengulangan sampel bagian akhir yang ditambahkan pada bagian depan simbol. Adanya CP akan menghilangkan *inter-symbol Interferance* (ISI) dengan syarat durasi CP lebih 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 [2].



Gambar 5. Cyclic Prefix [3]

OFDM merupakan teknik dimana setiap subchannel saling orthogonal sehingga tahan terhadap frequency selective fading dan menghemat bandwidth. OFDM merupakan suatu teknik kombinasi multiplexing dan modulasi yang memungkinkan bandwidth dibagi ke dalam beberapa sub channel yang saling orthogonal dan mempunyai korelasi antar sub channel sehingga 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) dimana periode simbol harus lebih besar dari durasi pulsa dan panjang CP lebih dari besar dari channel delay spread.



Gambar 6. Konsep OFDM

### 3. Modulasi QAM

Modulasi adalah proses perubahan atau varying suatu gelombang periodik sehingga menjadikan suatu sinyal carrier mampu membawa sinyal informasi dimana frekuensi carrier > frequency informasi. Pada Quadrature Amplitude Modulation (QAM) memiliki nilai fasa dan amplitude yang ditentukan disebut diagram rasi. Posisi berbeda diberikan nilai berbeda dengan cara ini satu sinyal dapat mentransfer data jauh lebih tinggi. Pada modulasi 16 QAM setiap simbol terdiri dari 4 bit informasi yang mana terdapat 16 simbol modulasi [6].

### 4. Outage Probability

Merupakan peluang sistem mengalami kegagalan transmisi karena melanggar Teorema Shannon Limit dimana seharusnya coding rate  $R \leq C$  channel capacity namun karena faktor kondisi alam maupun mobilitas transmitter dan receiver menjadikan sebaliknya. Outage probability dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$P_{outage} = P_r(R > C). \quad (9)$$

Hasil pemodelan kanal digunakan untuk menghitung Outage Probability. Jurnal ini menghitung kapasitas kanal singlepath atau AWGN dan menghitung kapasitas kanal multipath atau kanal broadband dengan  $R=1$  dan  $R=1/2$  [5].

### 4. Bit Error Rate (BER) dan Frame Error Rate (FER)

Dalam transmisi digital, jumlah bit error adalah jumlah bit yang diterima yang telah berubah pada saluran komunikasi karena noise, distorsi, fading, interferensi atau bit synchronization redundancy. Dengan kata lain bit error rate (BER) didefinisikan sebagai rasio dari bit error yang diterima dengan bit yang ditransmisikan dalam sistem transmisi selama interval waktu yang dirumuskan dalam persamaan [5]:

$$BER = \frac{Bit_{error}}{Bit_{transmitted}} \quad (9)$$

Frame error rate merupakan perbandingan jumlah frame yang error dengan frame yang ditransmisikan. Frame dianggap error ketika terdapat setidaknya satu bit dalam frame tersebut yang error, yang dirumuskan dalam persamaan [5]:

$$FER = \frac{Frame_{error}}{Frame_{transmitted}} \quad (10)$$

### 5. Pemodelan Kanal 5G

Jurnal ini melakukan pemodelan kanal dengan cara melakukan generate kanal menggunakan software New York University Channel Simulator (NYUSIM) versi 6.1. NYUSIM merupakan salah satu model yang direkomendasikan oleh 3GPP untuk

melakukan pemodelan kanal 5G. Adapun parameter masukan NYUSIM untuk memodelkan kanal OFDM *Numerology* pada Jurnal ini yaitu berdasarkan parameter spesifikasi Teknologi 5G dan parameter lingkungan Kota Bandung yang didapatkan dari BMKG Kota Bandung. Jurnal ini mensimulasikan 1 titik pengirim (TX) dan 100 titik penerima.

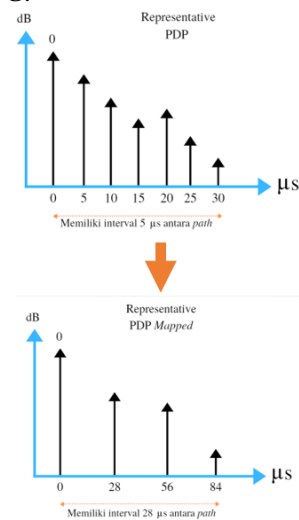


Gambar 7. NYUSIM Channel Simulator

Adapun keluaran dari NYUSIM merupakan respon impuls atau kanal pada 100 user yang setiap usernya mendapatkan nilai daya (dBm), *delay* setiap path (ns) yang berbeda-beda. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan dari keluaran NYUSIM untuk dijadikan suatu nilai kanal pada sistem atau disebut juga *power delay profile* (PDP) yang dihitung dengan cara sebagai berikut.

- Menjumlahkan *power* dari *instantaneous* PDP di *delay* yang sama.
- Menjumlahkan *power* setiap 5 ns, sesuai dengan bandwidth yang digunakan ( $\frac{1}{\text{Bandwidth}}$  ns).
- Mencari nilai maksimal *power* dan menjadi acuan untuk seluruh nilai *power*. Seluruh nilai *Power* dikurangkan dengan maksimal *power*. Maka *power* maksimal akan menjadi nilai 0 dB dan dijadikan sebagai *path* pertama.
- Memberikan *threshold* sebesar -30 dB, nilai di bawah -30 dB dianggap sebagai *noise*. Nilai *threshold* ini merupakan nilai inialisasi untuk sistem *small scale fading*.

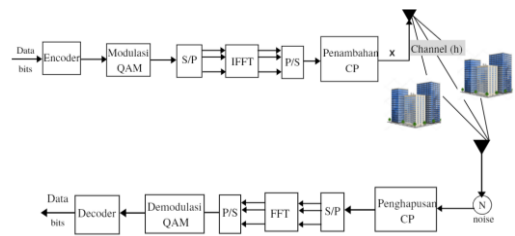
- Didapatkan nilai *power* dan *delay* disebut sebagai *path*, keseluruhan nilai *path* disebut sebagai *Representative Power Delay Profile* (PDP) yang dijadikan pemodelan kanal 5G.
- Karena keterbatasan sistem yang hanya bisa melakukan simulasi dengan maksimal jumlah *cyclic prefix* 9, maka dilakukan *scaling method* agar jumlah *path* yang dihasilkan dapat dimasukkan ke dalam sistem 5G.



Gambar 8. Scaling Method Representative PDP

## 6. Simulasi Blok Sistem Komunikasi 5G.

Simulasi dilakukan dengan mengikuti blok diagram sistem komunikasi 5G NR sesuai dengan Gambar 10. Bit informasi dikirimkan kemudian dilakukan pengkodean dengan menggunakan teknik *Polar Code* dan *Repetition Code* dengan *coding rate*  $\frac{1}{2}$  yang digunakan sebagai koreksi *error* dan deteksi *error*.



Gambar 9. Blok Sistem Komunikasi 5G

Pada *Polar Code* penempatan bit *frozen* dan bit informasi menggunakan teknik

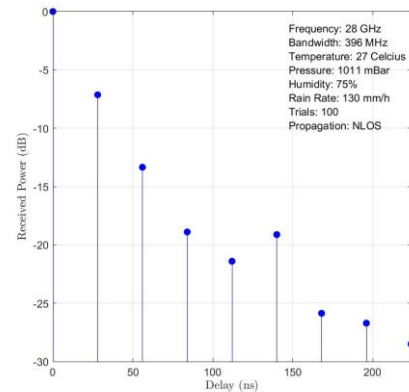
*polarization weight* seperti yang dijelaskan pada pembahasan 4, hasil bit yang telah dilakukan *channel coding* atau pengkodean disebut *codeword*. Selanjutnya dilakukan proses modulasi yaitu penumpangan sinyal informasi ke sinyal *carrier*, pada Jurnal ini menggunakan teknik modulasi 16 QAM dengan *softdemapper* agar performansi yang didapatkan maksimal, yang mana modulasi 16 QAM ini setiap simbol dapat membawa 4 bit,  $2^n=m$  atau nilai *array*. Kemudian bit-bit tersebut dirubah menjadi bit-bit paralel untuk selanjutnya dilakukan pembuatan simbol OFDM pada blok IFFT (*invers fast fourier transform*) lalu kemudian bit-bit tersebut diberikan cyclic prefix. Bit-bit informasi ditransmisikan melewati kanal yang telah dimodelkan berdasarkan kondisi lingkungan Kota Bandung dan parameter OFDM Numerology, kanal pada sistem merupakan kanal *multipath fading* yang pada tugas Akhir ini disebut *Representative PDP Mapped*.

Pada sisi terima dilakukan proses berkebalikan dengan sisi kirim. Bit informasi yang ditransmisikan melewati kanal dan sampai dipenerima akan terkena *noise*, kemudian *cyclic prefix* pada sisi terima akan dihapus agar tidak terbaca sebagai informasi. Selanjutnya dilakukan proses pemisahan atau pelepasan simbol OFDM pada FFT (*fast fourier transform*). Proses selanjutnya yaitu mengembalikan sinyal atau bit-bit informasi yang mengalami distorsi, translasi, rotasi selama perjalanan transmisi, proses ini terjadi pada blok equalizer, pada sistem. Jurnal ini menggunakan *Minimum Mean Squared Error (MMSE) Equalizer*. Proses selanjutnya yaitu pengambilan sinyal informasi yang ditumpangkan pada sinyal *carrier*, proses ini terjadi pada blok *demapper* yaitu dengan menggunakan *softdemapper*. Setelah dilakukan proses demodulasi, kemudian dilakukan proses *decoding* agar informasi yang didapatkan sesuai dengan informasi yang dikirim. Selanjutnya akan dilakukan analisis performansi sistem dengan menggunakan parameter BER dan FER seperti pada persamaan 9 dan 10.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Hasil Pemodelan Kanal

Pemodelan kanal diperoleh berdasarkan hasil pengolahan data dari keluaran *software* NYUSIM dengan masukan sesuai parameter lingkungan Kota Bandung dan parameter Teknologi 5G yang telah ditentukan sebelumnya agar kanal dapat dibangkitkan.



Gambar 10. Hasil Pemodelan Kanal

*Representative PDP Mapped* merupakan respon impuls yang mewakili kanal 5G pada frekuensi 28 GHz dengan *bandwidth* sebesar 198 MHz. Hasil perhitungan menghasilkan 9 *path* dengan nilai *mean excess delay* sebesar 9,99 ns dan *RMS delay spread* sebesar 25,28018 ns. Adapun nilai *path* yang didapatkan yaitu.

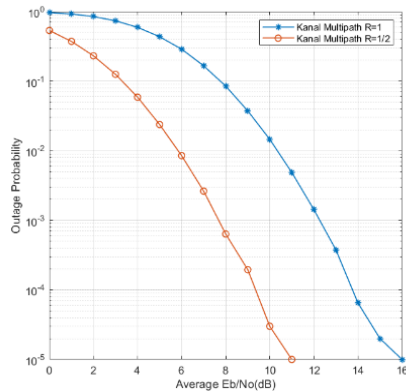
Tabel 3. Nilai *Representative PDP*

| Path ke- | Nilai (dB) |
|----------|------------|
| 1        | 0          |
| 2        | -7.14      |
| 3        | -13.34     |
| 4        | -18.89     |
| 5        | -21.4      |
| 6        | -19.11     |
| 7        | -25.86     |
| 8        | -26.7      |
| 9        | -28.5      |

### 2. Analisis Outage Probability

*Outage Probability*  $1,00 \times 10^{-5}$  menggunakan  $R=1/2$  dicapai pada  $E_b/N_0$  11 dB kanal menggunakan kanal *multipath*

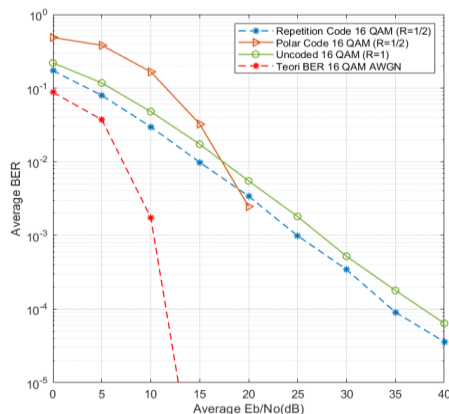
sedangkan pada *coding rate*  $R=1$  dicapai pada 16 dB.



Gambar 11. *Outage Probability*

### 3. Analisis Performansi BER

Jurnal ini menampilkan hubungan antara  $E_b/N_0$  (dB) dengan rentang 0-40 dB dengan BER pada setiap kelipatan 5 dB pada modulasi 16QAM. Adapun teknik *channel coding* yang digunakan yaitu *Polar Code* dan *Repetition Code* sebagai *error correction* dan *error detection* dengan *coding rate*  $R=1/2$ , serta dilakukan simulasi BER *uncoded* atau tanpa menggunakan *channel coding*  $R=1$  dan BER 16 QAM berdasarkan Teori Kanal AWGN. Simulasi dilakukan dengan mengirimkan  $1,024 \times 10^6$  bit informasi. Hasil BER pada *Repetition Code*, *Polar Code* dan juga *uncoded* disimulasikan menggunakan hasil pemodelan kanal 5G. Grafik BER yang baik adalah yang mempunyai kurva yang menurun dan terjun ke arah kiri, yang artinya dengan nilai  $E_b/N_0$  sekecil mungkin dapat menghasilkan BER lebih kecil.

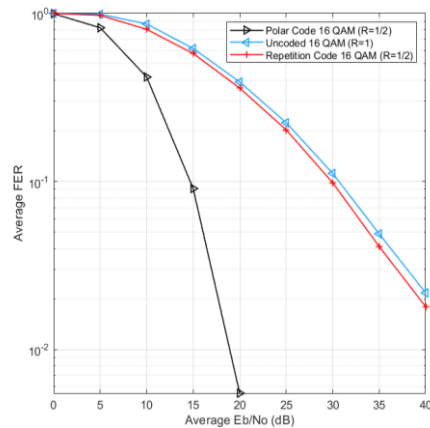


Gambar 12. Performansi BER

Terlihat pada Gambar 13 bahwa Grafik BER pada *uncoded* dan *Repetition Code* memiliki kurva yang sejajar, *Repetition code* sedikit berada di sebelah kiri bawah yang mengindikasikan terjadi penurunan BER setelah digunakannya teknik *Repetition code*, tetapi belum maksimal. Terlihat bahwa nilai BER  $1 \times 10^{-4}$  pada *Repetition Code* dicapai pada  $E_b/N_0$  34.62 dB sedangkan pada *uncoded* dicapai pada  $E_b/N_0$  37,92 dB. Pada grafik BER *Polar Code* dengan nilai  $E_b/N_0$  rendah yaitu 0-15 dB, cenderung menghasilkan BER yang lebih besar dibandingkan dengan *Uncoded* dan *Repetition Code*, akan tetapi pada  $E_b/N_0$  tinggi atau  $> 15$  dB terlihat *Polar Code* Sangat efektif menekan BER bahkan pada rentang  $E_b/N_0 > 20$  dB sudah tidak ada lagi terjadi bit *error* atau BER=0, yang artinya *Polar Code* membutuhkan nilai  $E_b/N_0$  di atas 15 dB untuk bekerja efektif menekan BER. Dengan demikian *Polar Code* bekerja menekan BER dengan sangat efektif dan cocok diterapkan pada Teknologi 5G dimana gradien Grafik BER nya mengikuti Teori BER.

### 4. Analisis Performansi FER

Jurnal ini juga menganalisis performansi berdasarkan Frame Error Rate (FER), yang merupakan perbandingan antara jumlah frame *error* dengan jumlah seluruh *frame* yang dikirim. Satu *frame* pada simulasi berisi 256 bit informasi, jadi apabila terdapat minimal satu bit *error* pada *frame* maka *frame* tersebut dinyatakan *error*. Simulasi dilakukan dengan mengirimkan  $1,024 \times 10^6$  bit informasi atau mengirimkan 4000 *frame*. Sama seperti BER, Grafik FER yang baik adalah yang mempunyai kurva yang menurun dan terjun ke arah kiri bawah, yang artinya dengan nilai  $E_b/N_0$  sekecil mungkin dapat menghasilkan FER sekecil mungkin juga.



Gambar 13. Performansi FER

Terlihat pada Gambar 12 bahwa FER pada *Repetition Code* sedikit lebih baik dibandingkan dengan *Uncoded* sama halnya seperti performansi BER. Hal ini dimungkinkan karena letak bit *error* pada setiap frame senderung seimbang pada *uncoded* dan *Repetition Code*. Hal ini berbeda dengan FER pada *Polar* yang terbukti sangat efektif menekan terjadinya frame error bahkan jauh lebih rendah dibandingkan dengan *Repetition Code* dan *Uncoded*. Pada Eb/No 19,80 dB, FER yang dihasilkan pada *Polar Code* yaitu  $6,13 \times 10^{-3}$ , sangat rendah dibandingkan pada *Repetition Code* yaitu  $3,66 \times 10^{-1}$  dan pada *uncoded* yaitu  $3,98 \times 10^{-1}$ . Oleh karena itu performansi FER terbaik dilihat dari grafik dan nilai yaitu *Polar Code*.

## KESIMPULAN

Hasil pemodelan kanal menghasilkan 9 path dengan nilai *mean excess delay* sebesar 5,039 ns dan *RMS delay spread* sebesar 22,747 ns. Pada *Repetition Code* nilai BER yang dihasilkan yaitu  $1 \times 10^{-4}$  pada Eb/No 34.62 dB dan pada *Polar Code* dengan BER=0 pada Eb/No > 20 dB. Nilai FER yang dihasilkan *Polar Code* jauh lebih rendah, pada Eb/No 19,8 dB yaitu  $6,13 \times 10^{-3}$  sedangkan *Repetition Code* yaitu  $3,66 \times 10^{-1}$ . Sehingga Teknik *Channel Coding* yang efektif untuk menurunkan bit *error* dan frame *error* pada sistem komunikasi 5G adalah *Polar Code*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. S. and M. Salim, "Polar Code : The Channel Code Contender for 5G Scenario," in International Conference on Computer, Communications and Electronics (Comptelix), Jaipur, 2017.
- [2] C. Mavromoustakis and G. Matorakis, "Modeling and Optimization in Science and Technologies: Internet of Things (IoT) in 5G Mobile Technologie". Springer International Publishing AG Switzerland, 2016.
- [3] D. C. Shah, B. U. Rindhe, S. K. Narayankhedkar "Effects of Cyclic prefix on OFDM system," ICWET, pp. 420-424, januari 2010.
- [4] ITU-R, "IMT vision framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," ITU-R, Tech, Rep., 2015.
- [5] K. P. Atmaja and K. Anwar, "Study on OFDM Numerology of 5G New Radio (NR) under Indoensia 5G Channel Model," 2nd Symposium of Future Telecommunication and Technologies (SOFTT), p. 2, 2018.
- [6] M. Hu, J. Li and Y. Lv, "A Comparative Study of Polar Code Decoding Algorithms," in IEEE 3rd Information Technology and Mechatronics Engineering Conference.
- [7] 3GPP, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; TS 23.501: "System Architecture for the 5G System" :3GPP, 2019.
- [8] 3GPP, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Physical Channel and Modulation, Valbonne: 3GPP, 2019.