

PERBANDINGAN KINERJA CONVOLUTIONAL CODES DAN POLAR CODES PADA TEKNOLOGI 5G DENGAN KANAL SSCM

Devi Yesitasari¹, Sheilla Nadia Valina², Faizah³, Danu Angga Vebriyanto⁴, Filda Hulwani Dewi⁵
^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang
devi.yesitasari@polines.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi telekomunikasi yang pesat mendorong hadirnya teknologi 5G New Radio (NR) dengan kecepatan transfer data hingga 20 Gbps dengan menggunakan frekuensi tinggi (6 GHz – 100 GHz). Frekuensi tinggi ini sensitif terhadap gangguan lingkungan, yang dapat menyebabkan kehilangan sinyal dan data. Untuk mengatasi hal tersebut, channel coding diterapkan untuk memastikan stabilitas dan keandalan transmisi data. Penelitian ini menganalisis kinerja Bit Error Rate (BER) dengan menggunakan convolutional codes dan polar codes pada sistem 5G dengan kanal Statistical Spatial Channel Model (SSCM) pada frekuensi 26 GHz dan bandwidth 198 MHz. Sistem menggunakan modulasi Binary Phase Shift Keying (BPSK) dalam konsep Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa polar codes memiliki kinerja BER yang lebih baik dibandingkan convolutional codes. Pada BER rata-rata 10^{-3} , polar codes membutuhkan SNR sebesar 9 dB, sedangkan convolutional codes membutuhkan 20 dB (gap 11 dB). Pada BER rata-rata 10^{-4} dan 10^{-5} , polar codes memerlukan SNR masing-masing sebesar 11,5 dB dan 13,8 dB, dibandingkan convolutional codes yang memerlukan 25,6 dB dan 31,5 dB, dengan gap berturut-turut sebesar 14,1 dB dan 17,7 dB. Penelitian ini membuktikan bahwa polar codes lebih efektif dalam meminimalkan error pada kanal SSCM, sehingga meningkatkan kinerja sistem 5G pada frekuensi 26 GHz.

Kata kunci: 26 GHz, 5G, Convolutional Codes, Polar Codes, SSCM

Abstract

The rapid development of telecommunication technology has encouraged the presence of 5G New Radio (NR) technology with data transfer speeds up to 20 Gbps by using high frequencies (6 GHz – 100 GHz). These high frequencies are sensitive to environmental disturbances, which can lead to loss of signal and data. To overcome that problem, channel coding is applied to ensure the stability and reliability of data transmission. This study analyzes the performance of Bit Error Rate (BER) by using convolutional codes and polar codes on the 5G system with the Statistical Spatial Channel Model (SSCM) channel at a frequency of 26 GHz and a bandwidth of 198 MHz. The system used Binary Phase Shift Keying (BPSK) modulation in Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). The results show that polar codes have better BER performance than convolutional codes. At an average BER of 10^{-3} , polar codes require an SNR of 9 dB, while convolutional codes require 20 dB (11 dB gap). At an average BER of 10^{-4} and 10^{-5} , polar codes require an SNR of 11.5 dB and 13.8 dB, respectively, compared to convolutional codes requiring 25.6 dB and 31.5 dB, with gaps of 14.1 dB and 17.7 dB, in a row. This study proves that polar

codes are more effective in minimizing errors on the SSCM channel, thereby improving the performance of the 5G system at the 26 GHz frequency.

Keywords: 26 GHz, 5G, Convolutional Codes, Polar Codes, SSCM

1. PENDAHULUAN

Teknologi telekomunikasi terus mengalami perkembangan pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan kecepatan transfer data yang lebih tinggi dan latency yang lebih rendah. Salah satu terobosan terbaru adalah teknologi generasi kelima atau 5G, yang dirancang untuk memberikan kecepatan transfer data hingga 20 Gbps, latensi rendah, dan konektivitas masif. Teknologi ini menghadirkan berbagai potensi aplikasi, seperti Internet of Things (IoT), augmented reality (AR), dan kendaraan otonom.

Ciri khas utama dari 5G adalah penggunaan spektrum frekuensi tinggi (6 GHz hingga 100 GHz) yang memungkinkan peningkatan kapasitas dan efisiensi jaringan secara signifikan. Namun, frekuensi tinggi ini memiliki tantangan berupa sensitivitas terhadap gangguan lingkungan, seperti suhu, kelembaban, tekanan udara, dan curah hujan, yang dapat menyebabkan fenomena multipath fading dan kehilangan sinyal. Frekuensi 26 GHz telah diidentifikasi sebagai salah satu spektrum utama untuk implementasi 5G sesuai rekomendasi International Telecommunication Union (ITU).

Untuk mengatasi tantangan ini, teknik channel coding diperlukan untuk memastikan keandalan transmisi data. Dua metode pengkodean yang banyak digunakan dalam teknologi 5G adalah convolutional codes dan polar codes. Convolutional codes, yang telah lama digunakan pada generasi komunikasi sebelumnya, terkenal karena kemampuannya dalam mendeteksi dan memperbaiki error. Di sisi lain, polar codes, yang diperkenalkan oleh Arikan, menawarkan kemampuan unik untuk mencapai kapasitas Shannon pada saluran tanpa memori diskrit biner (B-DMC) dan telah diadopsi dalam standar 5G.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa polar codes unggul dalam meminimalkan error pada saluran dengan noise tinggi dibandingkan dengan convolutional codes. Namun, studi tentang perbandingan kinerja kedua teknik ini pada kanal Statistical Spatial Channel Model (SSCM) dengan frekuensi tinggi, seperti 26 GHz, masih terbatas. Kanal SSCM dianggap relevan karena mampu merepresentasikan kondisi kanal nyata berdasarkan parameter lingkungan seperti suhu, kelembaban, tekanan udara, dan curah hujan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kinerja Bit Error Rate (BER) convolutional codes dan polar codes pada sistem 5G dengan kanal SSCM menggunakan frekuensi 26 GHz dan modulasi Binary Phase Shift Keying (BPSK). Hasil penelitian ini diharapkan memberikan wawasan yang berharga dalam mengoptimalkan performa sistem 5G, khususnya pada kanal frekuensi tinggi. Pendahuluan memuat hal-hal yang melatar belakangi timbulnya permasalahan yang akan diselesaikan. Tuliskan secara runut penelitian sebelumnya, yang berasal dari artikel jurnal ilmiah atau conference. Penulis harus terlebih dahulu mendaftarkan ke sistem untuk bisa mengirimkan naskah artikel. Dewan Redaksi akan mengembalikan artikel yang dikirimkan namun menyimpang dari ketentuan penulisan ini, sebelum diperiksakan kepada Mitra Bestari (*Reviewer/Pakar*) yang sesuai dengan bidang keilmuan artikel. Keputusan Mitra Bestari mengenai kelayakan artikel untuk dimuat dalam jurnal bersifat mutlak dan sepenuhnya menjadi hak Jurnal.

2. LANDASAN TEORI

2.1 New York University Wireless Simulator (NYUSIM)

Model kanal pada frekuensi 26 GHz dapat menggunakan software dengan nama NYUSIM melalui perbandingan skenario microcell pedesaan (RMa), macrocell perkotaan (Uma), microcell perkotaan (UMi) pada saat kondisi line of sight (LOS) dan non-line of sight (NLOS) dalam kondisi suhu, kelembaban, curah hujan dan tekanan udara disuatu daerah. NYUSIM merupakan simulator kanal sistem GUI berbasis MATLAB *open source* yang dikembangkan oleh NYU Wireless yang diteliti selama kurang lebih 5 tahun pada data akurat yang dikonversi pada tampilan 3D ruang dimensi elevasi, 3D statistik spasial pemodelan

kanal melalui komponen dengan sistem LOS. Dalam Omni directional Channel Impulse Responses (CIR), NYUSIM menggambarkan perilaku multipath dengan memanfaatkan konsep time clusters (TC) dan spatial lobe (SL). TC terdiri dari komponen multipath yang berjalan berdekatan satu sama lain dalam waktu dan tiba dari kemungkinan arah yang berbeda dalam jendela waktu propagasi singkat. Selama beberapa ratus nano detik, SLS menunjukkan arah utama keberangkatan (atau kedatangan) di mana energi tiba. NYUSIM memiliki beberapa kelebihan antaralain :

1. Memiliki 3 skenario dari frekuensi 2 sampai 73 Ghz yaitu microcell pedesaan (RMa), macrocell perkotaan (Uma), microcell perkotaan (UMi)
2. Memiliki gambar 3D yang lebih terlihat realistis dan akurat jika dibandingkan dengan aplikasi lain.
3. Frekuensi masukan dari 500 MHz hingga 100 GHz, dengan bandwidth yang dimiliki sampai 800 MHz.

2.2 Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate adalah parameter yang digunakan untuk mengevaluasi transmisi data sistem dengan membandingkan jumlah bit yang dikirim ke penerima yang salah. BER ditentukan dengan menghitung jumlah kesalahan dan membandingkan urutan bit yang dikirim dan diterima. Jumlah bit yang diterima yang telah berubah pada saluran komunikasi sebagai akibat dari noise, distorsi, fading, interferensi, atau redundansi sinkronisasi bit disebut sebagai jumlah kesalahan bit dalam transmisi digital. Rasio kesalahan bit yang diterima dengan bit yang ditransmisikan dalam sistem transmisi selama periode waktu yang ditentukan oleh persamaan disebut sebagai tingkat kesalahan *bit error rate* (BER) .

$$BER = \frac{B_e}{B_t}, \quad (1)$$

Keterangan:

B_e : Bit yang error

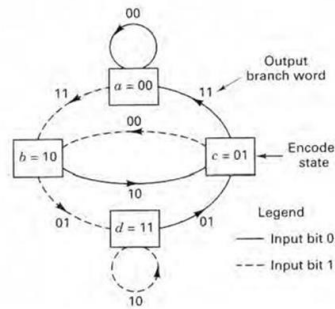
B_t : Bit yang ditransmisikan

Perbandingan kesalahan (error)

Perbandingan kesalahan (error) dengan bit yang dikirim secara keseluruhan dilakukan dengan Bit Error Rate (BER). Tingkat kesalahan bit menguji jumlah kesalahan membaca dipihak yang menang secara konsisten. Dalam kebanyakan kasus, sistem transmisi data dioptimalkan selama tahap desain sehingga parameter kinerja dapat disesuaikan di awal tahap konsep desain. Menangani transmisi data. Apakah sambungan radio/nirkabel atau sambungan telekomunikasi kabel menghubungkan dua lokasi, jumlah kesalahan pada data diujung jarak jauh merupakan parameter yang paling penting. Dalam kerangka serat optik, kesalahan bit pada dasarnya disebabkan oleh hamburan optik dan penyempitan yang mungkin tersedia. Selain itu, noise dapat masuk ke penerima optik dengan sendirinya. Untuk menentukan berapa banyak kesalahan pembacaan yang terjadi pada sisi penerima setiap detik, Bit Error Rate (BER) digunakan. BER 1013 digunakan untuk menggambarkan nilai BER. atau, dengan kata lain, dari 1013 bit yang dikirim, hanya satu yang mengalami kesalahan membaca atau menerima .

2.3 Convolutional Codes

Parameter sering digunakan untuk menggambarkan convolutional codes panjang batasan dan kecepatan kode. Kode konvolusional seringkali dideskripsikan menggunakan dua parameter: code rate dan constraint length. Code rate, k/n , adalah perbandingan antara jumlah bit masukan pada enkoder konvolusional (k) dengan jumlah keluaran simbol kanal pada enkoder konvolusional (n) dalam sebuah encoder cycle. Perbedaan antara kode konvolusional dengan kode blok adalah pada kode konvolusional terdapat memori yang dikategorikan sebagai constraint length, K . *Constraint length* menunjukkan jumlah k -bit *stages* yang tersedia untuk memenuhi logika kombinatorial yang menghasilkan simbol keluaran.



Gambar 1. Diagram State Convolutional Code Rate $\frac{1}{2}$

Pada Gambar 1 garis lurus menunjukkan jeda bit input "0", sedangkan garis putus-putus adalah bit input "1". Dengan memindahkan satu bit dalam satu waktu maka hanya akan terjadi dua transisi state yang bisa dijalankan oleh register pada tiap bit waktu. Itulah alasan mengapa disebut pengkoreksian otomatis karena setiap panah menunjukkan nilai dari perhitungan selanjutnya. kode rate yang digunakan $R = \frac{1}{2}$. Kode Konvolusi biner memiliki $2M-1$ kemungkinan keadaan (state). Karena untuk encoder ini $m=3$ maka terdapat 4 state yang mungkin baginya, yang masing-masing adalah $a = 00$, $b = 10$, $c = 01$, $d = 11$.

2.4 Polar Codes

Polar Codes merupakan metode pengkodean saluran salah satunya yang dapat memperbaiki kesalahan transmisi data. Transformasi saluran fisik ke saluran virtual dimungkinkan oleh konstruksi kode berdasarkan beberapa pengulangan kode kernel. Istilah "polarisasi" mengacu pada fenomena di mana jumlah rekursif saluran virtual tinggi atau rendah. Akibatnya, metode pengkodean saluran ini dikenal sebagai polar codes. Polar codes dikategorikan ke dalam kode blok linier berdasarkan polarisasi saluran. Polar codes pertama yang diketahui untuk mencapai saturasi kapasitas untuk Input Biner Diskrit Memoryless Channels (BDMC) .

Polar codes adalah sekelompok kode blok linear berdasarkan fenomena polarisasi saluran. Terbukti mencapai kapasitas Shannon untuk input biner simetris saluran tanpa memori diskrit (B-DMC) adalah pencapaian pertama yang diketahui dari Polar codes. Konstruksi eksplisit, pengkodean sederhana, dan penguraian kode, di antara keuntungan inklusif lainnya, dari polar codes. Throughput tinggi dan kinerja BER yang unggul dapat dicapai dengan Polar codes dengan metode sederhana (tingkat kode variabel) dan pemendekan kode (panjang kode variabel) .

2.5 OFDM

OFDM merupakan bentuk khusus untuk suatu FDM (Frequency Division Multiplexing), pada FDM suatu bandwidth dibagi menjadi beberapa kanal. Berkecepatan tinggi dan cukup kuat untuk melewati saluran multipath fading, OFDM adalah skema multiplexing transmisi data yang efektif. Sub-saluran yang tidak saling eksklusif dikorelasikan menggunakan OFDM. Setiap datum dikirim dengan CP untuk menghindari antar gambar obstruksi ISI dan antara impedansi saluran (ICI) Supaya tidak mengganggu satu sama lain, maka diperlukan jarak (guard band), namun hal tersebut membuat penggunaan bandwidth menjadi tidak efisien. Sedangkan OFDM konsepnya adalah empat kanal dapat ditumpang tindihkan menjadi satu, OFDM dinilai memberikan efisiensi pada bandwidth, dan dapat dilihat pada gambar 1 .

OFDM merupakan salah satu tipe dari metode multicarrier (FDM) yang memiliki efisiensi konsumsi frekuensi yang jauh lebih baik. Pada OFDM overlap antar frekuensi yang berdekatan diperbolehkan, sebab tiap-tiap telah saling orthogonal, sebaliknya pada sistem multicarrier konvensional buat mencegah interferensi antar frekuensi yang berdekatan butuh diselipkan frekuensi penghalang (guard band), dimana perihal ini mempunyai dampak samping berbentuk menurunnya kecepatan transmisi apabila dibandingkan

dengan sistem single carrier dengan lebar spektrum yang sama. Sehingga salah satu ciri dari OFDM merupakan tingginya tingkatan efisiensi dalam konsumsi frekuensi. Tidak hanya itu pada multicarrier konvensional pula dibutuhkan band pass filter sebanyak frekuensi yang digunakan, sebaliknya pada OFDM lumayan memakai FFT saja. Keunggulan utama yang lain dari OFDM merupakan kokoh mengalami frequency selective fading .

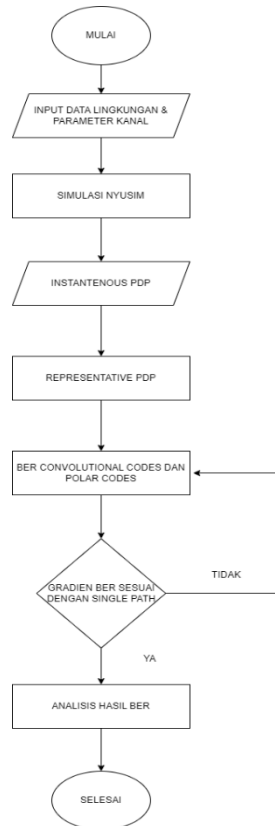
Dengan memakai teknologi OFDM, walaupun jalan komunikasi yang digunakan mempunyai ciri frequency selective fading (dimana bandwidth dari channel lebih kecil daripada bandwidth dari transmisi sehingga mengakibatkan pelemahan energi terima secara tidak seragam pada sebagian frekuensi tertentu), namun tiap sub carrier dari sistem OFDM hanya hadapi flat fading (pelemahan daya terima secara seragam). Pelemahan yang diakibatkan oleh flat fading ini lebih mudah dikendalikan, sehingga performansi dari sistem gampang buat ditingkatkan. Teknologi OFDM dapat mengganti frequency selective fading jadi flat fading, sebab meskipun sistem secara totalitas memiliki kecepatan transmisi yang sangat tinggi sehingga memiliki bandwidth yang lebar, sebab transmisi memakai subcarrier (frekuensi pembawa) dengan jumlah yang sangat banyak, sehingga kecepatan transmisi di masing- masing subcarrier sangat rendah dan bandwidth dari masing- masing subcarrier sangat kecil, lebih kecil daripada coherence bandwidth (lebar daripada bandwidth yang mempunyai ciri yang relatif sama).

2.6 Kanal Statistical Spatial Channel Model (SSCM)

Kanal SSCM merupakan salah satu tipe kanal broadband yang dikembangkan oleh New York University (NYU) serta diimplementasikan dalam simulator NYUSIM. Dalam pelaksanaannya, Statistical Spatial Channel Model (SSCM) memakai informasi dari simulasi yang parameter kanal serta probabilities nya dimodelkan secara statistik. Parameter statistik yang diartikan bisa menampilkan keadaan kanal yang sesungguhnya. Kanal SSCM terbuat lewat bermacam pengukuran dengan skenario yang diidamkan. Ada pula sebagian channel parameters masukan buat membangkitkan kanal SSCM semacam, radius sel, frekuensi, parameter area(temperatur, kelembaban hawa, tekanan hawa serta curah hujan), serta lainnya [7]. Riset ini memakai kanal SSCM buat memodelkan sistem 5G di Jawa Tengah, dimana ciri kanal SSCM nantinya akan direpresentasikan dalam power delay profile (PDP).

3. METODE

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan dalam perencanaan jaringan 5G. Alur penelitian ini digunakan sebagai pedoman penulis dalam pelaksanaan penelitian ini agar hasil yang dicapai tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditentukan sebelumnya. Proses tahapan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart BER Polar Codes & Convolutional Codes

Pada Gambar 2 merupakan *flowchart* yang menunjukkan ringkasan dari gambaran dalam pengerjaan penelitian dari awal perencanaan sampai dengan akhir. Pada topik pengerjaan penelitian ini berfokus pada analisis akhir *convolutional codes* dan *polar codes*, awalnya peneliti harus input data environment dan channel parameter terlebih dahulu. Kemudian langkah selanjutnya peneliti melakukan simulasi menggunakan NYUSIM.

Selanjutnya peneliti melakukan *instantaneous PDP* yaitu keluaran dari hasil NYUSIM berupa daya dan *delay*. Hasil dari *instantaneous PDP* akan memberikan hasil *representative PDP* yang kemudian dapat melanjutkan untuk menilai BER sebagai evaluasi. Setelah itu apabila hitungan BER tidak sesuai maka hitungan dengan *convolutional* dan *polar codes* diulang kembali hingga mendapat hasil sesuai yang diinginkan. Jika perhitungan analisis hasil sesuai, maka penelitian dinyatakan selesai dan berhasil.

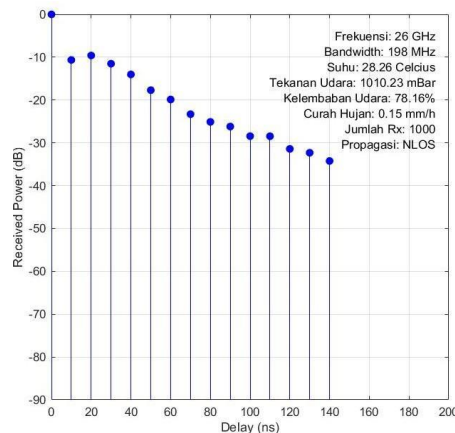
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data percobaan yang dimodelkan secara statistik dari hasil simulasi *software* NYUSIM dengan frekuensi yang digunakan sebesar 26 GHz. Hasil yang didapat dari pengolahan data *software* NYUSIM dengan 1000 penerima (*receiver*) menggunakan parameter yang didapat dari BPS Jawa Tengah dengan Jangka waktu yang digunakan yaitu bulan Juli 2021 sampai Desember 2021 dengan tujuan untuk mendapatkan hasil dari rata-rata suhu, tekanan udara, kelembaban udara, serta curah hujan. Data yang diperoleh berdasarkan nilai rata-rata dari parameter lingkungan tersebut didapatkan hasil nilai suhu rata rata sebesar 28,26°C, kelembaban udara rata-rata dengan nilai 78,16%, tekanan udara dengan nilai 1010,23 mmBar serta rata rata curah hujan dengan nilai 0,15 mm/hr.

Kanal SSCM direpresentasikan pada *Power Delay Profile* (PDP) dapat dari hasil keluaran simulasi NYUSIM dengan 1000 *receiver* pada NYUSIM memperoleh *instantaneous PDP* 1 hingga PDP 1000. *Output*

dari NYUSIM merupakan *respon impuls* pada 1000 jumlah penerima yang pada setiap *receiver* terdapat nilai daya (dBm), *delay* setiap *path* (ns) dengan nilai yang berbeda. Nilai nilai tersebut merupakan *instantaneous PDP*. *Instantaneous PDP* merupakan nilai sementara yang masih terdapat variasi terhadap waktu. Untuk penelitian ini hasil *instantaneous* yang didapatkan dari simulasi NYUSIM sesuai dengan jumlah dari penerimanya yaitu PDP1 sampai dengan PDP 1000. Masing masing *Instantaneous PDP* memiliki jumlah *path* yang beragam, maka dari itu untuk menentukan *representative PDP* diperlukan penyusunan data. Untuk menentukan *representative PDP* dibutuhkan pengolahan yaitu dengan melakukan pengelompokan pada *time slot delay* (τ) menjadi *grouping indeks* (α), dimana (α) berfungsi merata-ratakan serta menggabungkan *path* daya di tiap *interval* waktu 10 ns (1-10 ns, 11-20 ns, 21-30 ns, 31-40 ns dst) pada τ , kemudian ditransformasikan ke *timeslot* 1. Pada *timeslot* 1 memiliki rata-rata nilai *path* daya di seluruh PDP kemudian melakukan perhitungan CDF. *Representative PDP* yang telah diproses dari *instantaneous PDP* dengan mengambil nilai persentil ke -90 dari CDF, pengambilan nilai ke -90 memiliki tujuan pada distribusi PDP cenderung memiliki nilai yang kecil sehingga penentuan nilai ini diharapkan dapat mewakili nilai PDP yang dapat mewakili setiap *path*. Sedangkan batas terkecil daya *path* yang diambil sebesar -140 dB sebelum dinormalisasikan karena daya dari *path* yang memiliki nilai dibawah -140 dB dianggap sebagai *noise*. Metode normalisasi diterapkan pada PDP yang mempunyai daya terkuat pada setiap *path*.

Setelah menjalankan proses *thresholding* dengan nilai -140 dB yang diibaratkan sebagai sensitivitas perangkat 5G di Indonesia, maka akan memperoleh daya *representative PDP* dari kanal SSCM sebanyak 15 *path*. Setiap *path representative PDP* memiliki *delay* dengan kelipatan 10 ns.



Gambar 3. Representative PDP

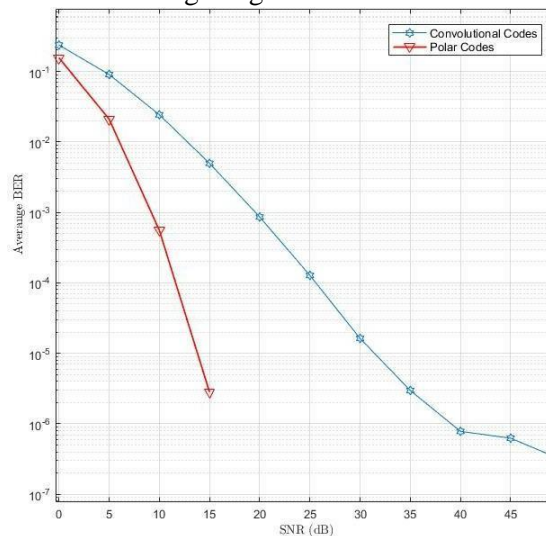
Pada Gambar 3 dapat diamati bahwa kanal SSCM mendapatkan *representative PDP* dengan jumlah 15 *path*, serta untuk penelitian ini memerlukan perhitungan pada metode *scalling* terhadap *path representative PDP* (*PDP real*) yang menggunakan *FFT size* sebesar 512.

Tabel 1 Informasi daya PDP

Path	Delay (ns)	Receiver Power (dBm)	ReceivedPower (Numerik)
1	0	0	1
2	10	-10.650	0,1138
3	20	-9.599	0,1361
4	30	-11.510	0,0849
5	40	-14.020	0,0469
6	50	-17.700	0,0254
7	60	-19.880	0,0110
8	70	-23.300	0,0072
9	80	-25.100	0,0044
10	90	-26.190	0,0034
11	100	-28.430	0,0025
12	110	-28.450	0,0025
13	120	-31.410	0,0019
14	130	-32.310	0,0015
15	140	-34.230	0,0013

Tabel 1 merupakan nilai daya terima dBm pada PDP yang dikonversi menjadi nilai numerik, dimana nilai numerik tersebut nantinya akan menjadi masukan pada sistem simulasi tahap berikutnya.

Riset ini diuji coba pada kanal 5G buat mengevaluasi serta menampilkan hasil kinerja BER *convolutional codes* dengan *coding rate* 1/2 dan hasil kinerja BER *polar codes* dengan *coding rate* yang sama yaitu 1/2. Pada gambar 4.4 menampilkan hasil kurva kinerja dari BER *convolutional codes*, serta BER *polar codes*. Sumbu y mewakili *average BER* dari 10^{-0} sampai 10^{-6} serta sumbu x mewakili *average SNR* dari 0 – 40 dB. Garis biru dengan marker ‘*’ mewakili BER *convolutional codes*, sedangkan garis merah dengan marker segitiga mewakili BER *polar codes*. Pengujian ini sama sama dilakukan pengujian 100.000 trial, serta performansi BER dihitung dengan FFT berukuran 512.



Gambar 4. Hasil Perbandingan Kinerja BER Convolutional Codes Serta BER Polar dengan Coding Rate 1/2

Tabel 2. Hasil Perbandingan Kinerja BER *Convolutional Codes* Serta BER Polar dengan Coding Rate $\frac{1}{2}$

Kinerja BIT ERROR RATE	Average SNR (dB)	
	<i>Convolutional Codes</i> (R = $\frac{1}{2}$)	<i>Polar Codes</i> (R = $\frac{1}{2}$)
10^{-3}	20	9
10^{-4}	25,6	11,5
10^{-5}	31,5	13,8

Pada Gambar 4 serta Tabel 2 menampilkan hasil perbandingan kinerja BER *convolutional codes* serta BER polar dengan coding rate $\frac{1}{2}$. Perihal ini menunjukkan bahwa selisih antara kurva BER *convolutional codes* dengan kurva BER *polar codes* pada saat menemui titik BER 10^{-3} memiliki rentang selisih SNR sebesar 11 dB, sedangkan pada titik BER 10^{-4} pada kurva *convolutional codes* dengan kurva *polar codes* memiliki selisih rentang SNR sebesar 14,1 dB. dan yang terakhir yaitu pada titik BER 10^{-5} pada kurva *convolutional codes* dengan kurva *polar codes* memiliki selisih rentang SNR sebesar 17,7 dB. Dapat diamati bahwa semakin besar nilai dari *average BER* maka hasil dari perbandingan kedua *channel coding* tersebut memiliki selisih yang lebih tinggi pada setiap poin dari *convolutional codes* terhadap *polar codes*. Maka dari hasil percobaan diatas ini menunjukkan bahwa kinerja dari BER *polar codes* lebih baik dari pada BER *convolutional codes*, karena *polar codes* merupakan salah satu *stong code* atau *channel coding* yang lebih kompleks sehingga terbukti lebih banyak mengurangi *error* yang terjadi pada sistem.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penerapan *polar codes* dan *convolutional codes* sebagai teknik *channel coding* pada sistem komunikasi 5G dengan frekuensi 26 GHz menunjukkan performa yang berbeda dalam hal *Bit Error Rate* (BER). *Polar codes* terbukti lebih unggul dibandingkan *convolutional codes* dalam meminimalkan error, terutama pada kondisi kanal *Statistical Spatial Channel Model* (SSCM) dengan frekuensi tinggi yang sensitif terhadap gangguan lingkungan.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada nilai BER rata-rata 10^{-3} , *polar codes* hanya membutuhkan SNR sebesar 9 dB, sementara *convolutional codes* memerlukan SNR sebesar 20 dB, dengan selisih kinerja sebesar 11 dB. Pada nilai BER rata-rata 10^{-4} dan 10^{-5} , *polar codes* membutuhkan SNR masing-masing sebesar 11,5 dB dan 13,8 dB, jauh lebih rendah dibandingkan *convolutional codes* yang memerlukan SNR sebesar 25,6 dB dan 31,5 dB, dengan selisih masing-masing sebesar 14,1 dB dan 17,7 dB. Selisih ini membuktikan bahwa *polar codes* lebih efisien dalam meminimalkan error dibandingkan *convolutional codes* pada kanal SSCM.

Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sistem komunikasi 5G, khususnya dalam optimasi kanal dengan frekuensi tinggi. *Polar codes* terbukti dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem 5G pada frekuensi 26 GHz, sehingga menjadi solusi potensial untuk mendukung layanan data yang stabil, andal, dan berkinerja tinggi pada era 5G. Penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan memperluas parameter lingkungan dan menggunakan skenario kanal yang lebih kompleks untuk validasi lebih lanjut.

6. DAFTAR PUSTAKA

- A. A. P. Rachman, "Channel Coding Polar Codes pada Kanal 5G Dipengaruhi Human Blockage pada Frekuensi 2,3 GHz," InComTech : Jurnal Telekomunikasi dan Komputer, vol. 12, no. 2, hlm. 95, Agu 2022, doi: 10.22441/incomtech.v12i2.13225.
- A. J. Viterbi, "Convolutional codes and their performance in communication systems," IEEE Trans. Commun. Technol., vol. 19, no. 5, pp. 751-772, Oct. 1971.
- A. Sharma dan M. Salim, "Polar Code: The Channel Code Contender for 5G Scenarios."

B. D. Setyadi dan I. Santoso, "Evaluasi Kinerja Convolutional Coding Rate $\frac{1}{2}$ Pada Sistem CDMA Dengan Kanal AWGN dan Multipath RAYLEIGH Fading."

E. Arikan, "Channel polarization: A method for constructing capacity-achieving codes for symmetric binary-input memoryless channels," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 55, no. 7, pp. 3051–3073, Jul. 2009.

E. Christy, R. Pudji Astuti, dan K. Anwar, 2018 International Conference on ICT for Rural Development (IC-ICTRuDev). IEEE, 2018.

E. Kusuma Rosita, Suwandi, dan A. Ansori, "Implementasi Convolutional code dan Viterbi decode pada DSK TMS320C6416T".

I. Tal and A. Vardy, "List decoding of polar codes," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 61, no. 5, pp. 2213–2226, May 2015.

ITU-R, "IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," International Telecommunication Union, Geneva, 2015.

ITU-R, "Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s)," Geneva, 2017.

ITU-R, "Recommendation ITU-R M.2083-0 IMT Vision-Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond M Series Mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services." [Daring]. Available: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>

J. G. Andrews et al., "What will 5G be?," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 32, no. 6, pp. 1065–1082, Jun. 2014.

J. Teknik Elektro dkk., "Analisa Perbandingan BER dan PAPR dalam Transmisi Citra pada Sistem 4G LTE."

M. Agiwal, A. Roy, and N. Saxena, "Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 18, no. 3, pp. 1617–1655, 2016.

M. Yusuf, A. F. Isnawati, dan S. Larasati, "Analisis Kinerja FBMC OQAM menggunakan Kode Konvolusi," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 9, no. 4, hlm. 775, Okt 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i4.775.

N. Indah Pratiwi, A. Ali Muayyadi, dan U. Kurniawan Usman, "Perbandingan Performansi Polar Code dan Repetition Code Terhadap Kanal Multipath Pada Sistem Komunikasi 5G," *Theta Omega: Journal of Electrical Engineering*.

R. Dyah Wahyuningrum, D. Pramudya, dan I. Permatasari, "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." [Daring]. Available: www.jurnal.unimed.ac.id

R. Hidayat, "Fitur Utama OFDM dan OFDMA bagi Jaringan Komunikasi Broadband".

R. P. Prakoso, E. Wahyudi, dan K. Masykuroh, "Optimalisasi Bit Error Rate (BER) Jaringan Optik Hybrid Pada Sistem DWDM Berbasis Soliton," *Journal of Telecommunication, Electronics, and Control Engineering (JTECE)*, vol. 3, no. 2, hlm. 62–70, Sep 2021, doi: 10.20895/jtece.v3i2.320.

S. Nie, J. Zhang, X. Mu, and X. Ge, "A comprehensive 5G channel model for wireless communication system design," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 67, no. 8, pp. 6678–6690, Aug. 2018.

S. Sun, T. S. Rappaport, R. W. Heath, A. Nix, and S. Rangan, "MIMO for millimeter-wave wireless communications: Beamforming, spatial multiplexing, or both?," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 12, pp. 110–121, Dec. 2014.

T. S. Rappaport et al., "Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work!," IEEE Access, vol. 1, pp. 335–349, 2013.