

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Pada penelitian ini, menggunakan beberapa referensi jurnal penelitian sebagai kajian pustaka. Pustaka yang relevan digunakan dan menjadi acuan penulis dalam melakukan penyusunan penelitian.

Pada penelitian Ade Kurniawan, Achmad Rizal Danisya, Anggun Fitriani Isnawati dengan judul “*Performance of mm Wave Channel Model on 28 GHz Frequency Based on Temperature Effect in Wonosobo City*”, penelitian ini membahas tentang pemodelan kanal 5G dibawah pengaruh suhu maksimal dan minimal pada frekuensi 28 GHz, *bandwidth* sebesar 200 MHz, dan menggunakan modulasi QPSK dengan menggunakan parameter lingkungan kota Wonosobo, dengan parameter suhu maksimal sebesar 30,4 °C dan suhu minimal sebesar 18 °C. Penelitian ini melakukan pemodelan kanal 5G menggunakan data parameter lingkungan kota Wonosobo dengan rentang waktu Mei 2018 sampai April 2020. Penelitian tersebut mendapatkan hasil bahwa suhu maksimum dan minimum berpengaruh terhadap kinerja saluran sistem komunikasi 5G. Bisa dikatakan bahwa $R = \frac{1}{2}$ lebih efisien karena membutuhkan E_b/N_0 yang lebih sedikit, dibandingkan $R = \frac{3}{4}$ dan $R = 1$ membutuhkan E_b/N_0 yang lebih besar sehingga dinyatakan tidak efisien [4].

Pada penelitian Nadya Indah Pertiwi, Achmad Ali Muayyadi, Uke Kurniawan Usman dengan judul “*Perbandingan Performansi Polar Codes dan Repetition Codes Terhadap Kanal Multipath Pada Sistem Komunikasi 5G*”, penelitian ini membahas mengenai performansi teknik pengkodean *Polar Codes* dan *Repetition Codes* untuk *error correction* pada komunikasi 5G menggunakan modulasi 16-QAM (*Quadrature Amplitudo Modulation*) dan menggunakan teknik *multicarrier CP-OFDM numerology 2*. Penelitian tersebut juga melakukan simulasi dan analisis pemodelan kanal 5G dengan parameter lingkungan kota Bandung dengan frekuensi kerja 28 GHz dan *bandwidth* sebesar 198 MHz. Penelitian tersebut melakukan simulasi dan analisis pemodelan kanal 5G dengan parameter lingkungan kota Bandung. 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 codes* nilai BER yang dihasilkan yaitu 1×10^{-4} pada E_b/N_0 34,62 dB dan pada *polar codes* dengan BER=0 pada $E_b/N_0 > 20$ dB. Nilai FER yang dihasilkan *polar codes* jauh lebih rendah, pada E_b/N_0 19,8 dB yaitu $6,13 \times 10^{-3}$ sedangkan *repetition codes* 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 codes* [5].

Pada penelitian Reni Dyah W, Khoirul Anwar, dan Levy Olivia Nur dengan judul “*Humidity Effect to The Indonesia 5G Channel Model at 3,3 GHz*”, membahas tentang efek kelembaban pada komunikasi 5G dengan menggunakan frekuensi 3,3 GHz, *bandwidth* 99 MHz. Teknik modulasi menggunakan C-BPSK dengan *channel coding Convolutional Codes* dan parameter lingkungan yang digunakan kota Bandung. Diantaranya adalah parameter kelembapan maksimum sebesar 74,88% kelembapan minimum sebesar 36,37%, suhu sebesar 28,03°C, tekanan *barometric* sebesar 973 mbar, dan curah hujan sebesar 120 mm/h. Dengan jarak antara pemancar dan penerima yaitu 250 meter. Dari penelitian tersebut mendapatkan hasil model 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* 1 dengan modulasi 5G C-BPSK kode *Convolutional* [6].

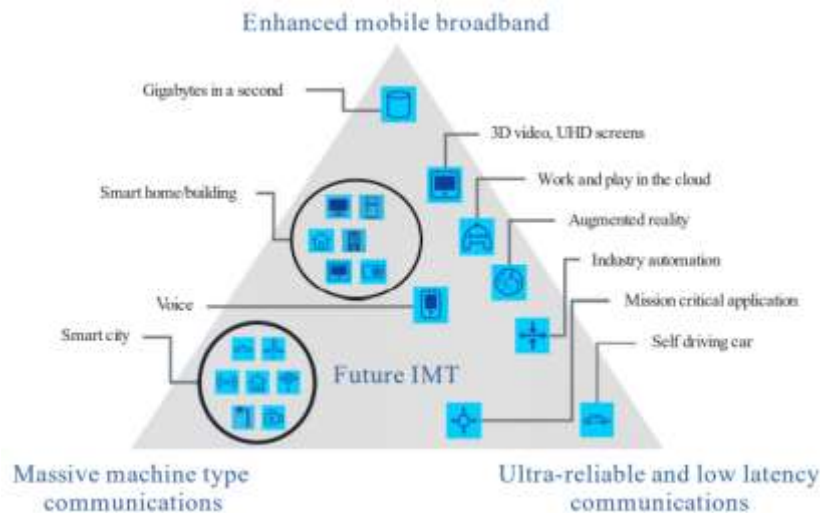
Pada Penelitian Khoirun Ni'amah, Shelly Nurjanah, dan Achmad Rizal Danisya dengan judul “*Model Kanal 5G Frekuensi 28 GHz dengan Pengaruh Suhu di Kota Yogyakarta*” membahas tentang performansi model kanal 5G terhadap pengaruh alam dengan menggunakan frekuensi 28 GHz dan *bandwidth* 50 MHz. Teknik modulasi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan 16-QAM, CP-OFDM dan parameter lingkungan yang digunakan kota Yogyakarta diantaranya suhu maksimum sebesar 30,83°C, suhu minimum 22,53°C, tekanan udara 991,75 mbar, kelembapan udara 79,69% dan curah hujan 150 mm/h, data parameter tersebut diambil dalam rentang waktu 1 tahun dari bulan April 2018 sampai April 2019. Hasil dari penelitian ini menunjukkan perbandingan model kanal 5G untuk mendapatkan *outage probability* sebesar 10^{-4} pada suhu maksimum dan minimum sehingga didapatkan E_b/N_0 yang dibutuhkan untuk *coding rate* 1/2 adalah 17,26

dB dan 15,25 dB, *coding rate* 3/4 adalah 19,53 dB dan 17,45 dB dan *coding rate* 1 adalah 22,11 dB dan 19,82 dB. Hal ini menunjukkan bahwa suhu mempengaruhi performansi sistem komunikasi pada 5G dan menunjukkan bahwa dengan *coding rate* setengah lebih efisien dalam kualitas dan kapasitas kanal [7].

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 5G New Radio (NR)

Perkembangan teknologi terus berkembang dari masa ke masa dan menjadikan layanan telekomunikasi sebagai kebutuhan utama. Teknologi 5G NR diharapkan mampu melayani kebutuhan masyarakat mendapatkan akses informasi yang sangat cepat untuk membantu aktivitas dan meningkatkan kualitas hidup manusia. 5G dirancang untuk mendukung berbagai layanan yang terkait dengan penggunaan skenario yang mencakup segitiga *usage* skenario *International Telecommunication Union* (ITU) yang terdiri dari *enhanced Mobile Broadband* (eMBB), *Ultra-Reliable and Low Latency Communications* (URLLC), dan *massive Machine Type Communications* (mMTC). Berikut implementasi 5G berdasarkan *channel model* [7].



Gambar 2.1 Segitiga *Usage* Skenario *International Telecommunication Union* (ITU) [8].

Berdasarkan gambar 2.1 terdapat tiga skenario dan layanan 5G yang ditentukan oleh ITU-R diantaranya:

1. *Enhanced Mobile Broadband*

Mobile Broadband menangani kasus penggunaan untuk akses ke konten multimedia, layanan dan data. Layanan pada *eMBB* merupakan layanan yang mampu memberikan kecepatan internet yang sangat tinggi, yakni *downlink* hingga 20 Gb/detik dan *uplink* hingga 10 Gb/detik. Contoh pada penerapan layanan eEMB antara lain *Video Conference*, *Web-access* dan layanan *Games Online* [8].

2. *Ultra-Reliable and Low Latency Communications*

Penggunaan skenario URLLC ini memiliki kemampuan untuk *throughput* yang tinggi, *latency* yang rendah, dan ketersediaan (*availability*) Contoh penerapan layanan URLLC ini antara lain, *Autonomous Vehicles* (kendaraan otomatis), *drone* untuk layanan logistik, dan *remote medical operation* [8].

3. *Massive Machine Type Communications*

Penggunaan skenario mMTC ditujukan untuk melayani perangkat (*device*) yang terhubung dalam jumlah yang besar (*massive*). Perangkat harus berbiaya rendah, dan memiliki masa baterai yang lama. Contoh penggunaan pada layanan mMTC ini antara lain *internet of things* (IoT), *industrial IoT*, *smart home*, dan *smart city*. [8].

2.2.2 Kanal Wireless

Pentransmisi dari kanal *wireless* memanfaatkan udara dengan menggunakan frekuensi yang ditransmisikan antara pengirim dan penerima. Peluang gangguan atau interferensi pada jaringan *wireless* lebih besar dibanding jaringan *wired*. Hal tersebut terjadi karena menggunakan media udara yang sifatnya *public* atau dapat digunakan oleh siapapun. Karakteristik kanal *wireless* dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok besar, yaitu *large-scale fading* dan *small-scale fading* yaitu:

1. *Small-scale fading*, hal ini disebabkan oleh *interferensi* yang konstruktif dan destruktif dari *path* sinyal jamak antara pemancar dan penerima. Hal ini terjadi pada skala spatial dari panjang gelombang pembawa dan bergantung pada frekuensi. *Small-scale multipath fading* lebih relevan pada desain kehandalan dan efisiensi sistem komunikasi.

2. *Large-scale fading*, hal ini disebabkan oleh pantulan dari objek seperti bukit dan bangunan. *large-scale fading* lebih relevan pada masalah seperti perencanaan *cell-site* [9].

2.2.2.1 Kanal *Broadband*

Kanal *broadband* merupakan kanal *multipath* yang memiliki kapasitas kanal yang lebar untuk sistem berkecepatan tinggi sehingga kapasitasnya lebih besar dari pada kanal *narrowband* yang dihitung dengan [10].

$$C = \frac{1}{N} B + \sum_{n=1}^N \log_2(1 + |\Psi_n|^2 \cdot \gamma) \quad (2.1)$$

Keterangan:

N = Panjang blok transmisi

$\Psi_n = \text{Multipath}$

Terdapat lebih dari satu *path* yang diindikasikan dengan Ψ_n pada kanal *broadband*. Untuk $n = \{1, 2, 3, \dots, N\}$, dimana N adalah Panjang dari blok transmisi, Nilai untuk setiap kanal dinyatakan dengan [10]:

$$\Psi_n = \text{diag} [F \cdot H_c \cdot F^H] \quad (2.2)$$

Keterangan:

F = Matriks *Fast Fourier Transform* (FFT)

H_c = Matriks *circulant* hasil penambahan *cyclic prefix* (CP)

F^H = Matriks *Invers Discrete Fourier Transform* (IDFT)

Notasi Q (Panjang CP) bisa dihitung sebagai berikut:

$$Q = \frac{T_{cp(i)}}{T_{ofdm(i)}} \cdot N_{FFT} \quad (2.3)$$

dimana $T_{cp(i)}$ dan $T_{ofdm(i)}$ menunjukkan durasi *cyclic prefix*.

Keterangan:

$T_{cp(i)} = \text{Cyclic Prefix Duration } (\mu\text{s})$

$T_{ofdm(I)} = \text{OFDM symbol Duration } (\mu\text{s})$

Hubungan SNR dan E_b/N_0 ditulis dengan:

$$\text{SNR} = \frac{E_b}{N_0} \cdot m \cdot R \quad (2.4)$$

dimana m adalah indeks modulasi yang memuat jumlah *bit* per simbol, misalnya $m = 1$ pada modulasi *binary phase shift keying* (BPSK) dan $m = 2$ pada *4-quadrature amplitude modulation* (QAM), R menunjukkan *coding rate* dan E_b/N_0 menunjukkan energi bit per *noise*.

Kanal *broadband* identik dengan kanal yang memiliki *bandwidth* transmisi yang lebih besar dari *bandwidth* koheren dalam kanalnya. Kanal *broadband* dibutuhkan oleh aplikasi-aplikasi dengan kecepatan transfer data yang tinggi, sebab kanal *broadband* memiliki kapasitas yang sangat besar. *Bandwidth* yang lebar menyebabkan kanal *broadband* rentan terhadap efek kanal *multipath fading*, di mana beberapa *path* dapat terganggu oleh ISI. Hal ini berkaitan dengan *bandwidth* koheren yang lebih kecil dari *bandwidth* sinyal sehingga kanal akan mengalami *frequency-selective fading*. Oleh sebab itu, OFDM diperlukan untuk memproses sinyal yang diterima pada sisi *receiver* setelah melalui kanal *broadband* sehingga *diversity* dapat dicapai.

2.2.2.2 Kanal Narrowband

Kanal *narrowband* biasanya digunakan untuk sistem berkecepatan rendah. Salah satu karakteristik kanal *narrowband* adalah tidak adanya efek *multipath* karena *bandwidth* yang sempit. Kapasitas kanal *narrowband* dihitung dengan [10].

$$C = B \cdot \log_2(1 + |h|^2 \cdot \gamma) \quad (2.5)$$

berdasarkan teori *Shannon* pada *information theory*. Variabel h menunjukkan bahwa hanya terdapat satu *path* yang terjadi dalam transmisi dengan B adalah *bandwidth*, h adalah kanal dan γ adalah *signal to noise ratio* (SNR) [10]. Perhitungan kapasitas terhadap *energy per bit to noise power spectral density ratio* (E_b/N_0) dinyatakan dengan [10].

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + |h|^2 \frac{N_B}{N_0} \cdot M \cdot R \right) \quad (2.6)$$

dengan M adalah indeks modulasi dan R adalah *channel coding rate* $R = (1, \frac{1}{2})$.

Keterangan:

B = *Bandwidth*

h = Kanal

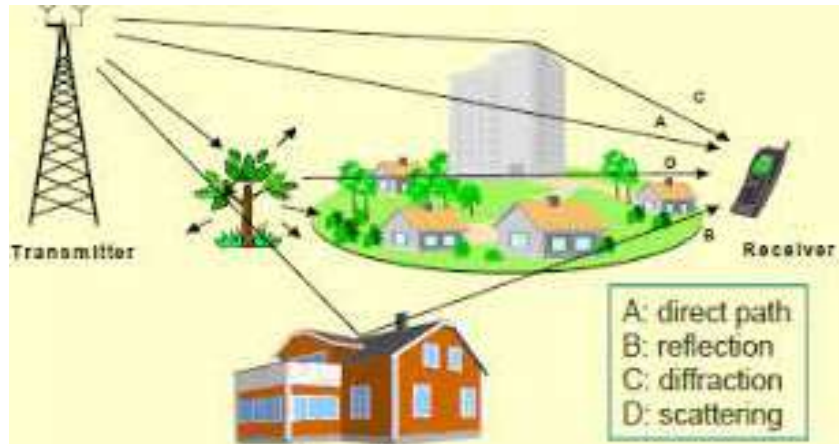
γ = *Signal to noise ratio*

M = Indeks modulasi

R = *Coding rate*

2.2.3 Kanal *Multipath Fading*

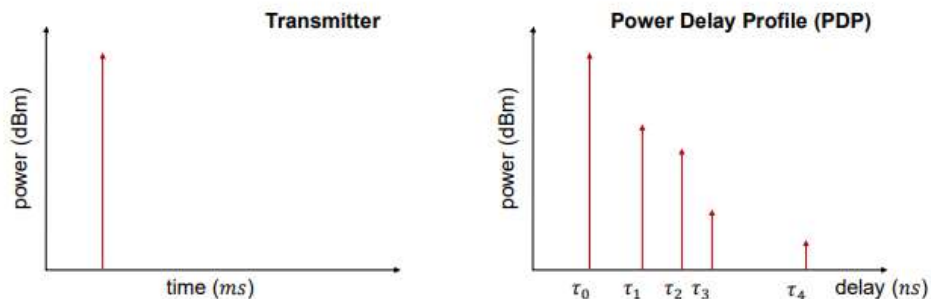
Kanal *multipath* merupakan perambatan sinyal atau pengiriman informasi antara *transmitter* dan *receiver* dengan melalui berbagai jalur pentransmisian yang berbeda. Karena melalui jalur yang berbeda-beda tersebut mengakibatkan kuat sinyal yang diterima menjadi bervariasi. *Multipath fading* yang paling umum adalah yang berkaitan dengan mekanisme propagasi yang melibatkan pantulan (*reflection*), pembiasan (*refraction*), hamburan (*scattering*), dan penyaluran (*ducting*) sehingga menyebabkan interferensi. Gambar dibawah menunjukkan proses pentransmisian *multipath fading* [11].



Gambar 2.2 *Multipath Fading* [11].

2.2.4 *Power Delay Profile (PDP)*

Power Delay Profile (PDP) merepresentasikan daya rata-rata sebagai fungsi *delay* propagasi akibat *multipath* yang dialami kanal. Daya yang diterima dan dispersifitas *multipath* dalam saluran nirkabel (*wireless*) dapat diprediksi berdasarkan nilai PDP. Saluran dapat mengalami *multipath* akibat adanya pantulan (*reflection*), pembiasan (*refraction*), hamburan (*scattering*), dan penyaluran (*ducting*) sehingga menyebabkan interferensi [12]. Dalam proses *plot* PDP, sumbu X mewakili *delay* propagasi masing-masing *path* dan sumbu Y mewakili daya sinyal dari setiap *path*. Gambar 2.3 menunjukkan contoh bagaimana sinyal yang ditransmisikan akan diterima pada sisi *receiver* dengan daya yang berbeda-beda melalui kanal *multipath* berdasarkan *delay* propagasi yang berbeda pula (τ_0 ; τ_1 ; τ_2 ; τ_3 ; τ_4). PDP dicirikan dengan nilai *maximum excess delay*, *mean excess delay*, dan *root mean square delay spread* [13].



Gambar 2.3 (a) Sinyal transmisi, (b) Sinyal terima [13].

2.2.4.1 *Maximum Excess Delay*

Maximum Excess Delay atau yang disebut *maximum delay spread* merupakan perbedaan waktu relatif yang dihitung dari komponen sinyal yang diterima pertama kali sampai komponen sinyal terakhir yang memiliki daya di atas sensitivitas *receiver (threshold)*. *Maximum excess delay* bersamaan dengan perioda waktu simbol dapat digunakan untuk mengklasifikasikan kanal ke dalam kategori *frequency-selective* atau *frequency-non-selective*. [14].

2.2.4.2 *Mean Excess Delay*

Mean Excess Delay merupakan nilai momen pertama dari PDP. *Mean excess delay* menunjukkan *delay* yang sebanding dengan daya sinyal yang diterima dari keseluruhan *delay* dalam PDP. *Mean excess delay* menimbang *delay* yang berasal dari komponen *multipath* berdasarkan daya relatifnya [14]. *Mean excess delay* $\bar{\tau}$ dapat dihitung sebagai:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum ak^2 \cdot \tau k}{\sum ak^2} = \frac{\sum P(\tau k) \cdot \tau k}{\sum P(\tau k)}, \quad (2.7)$$

dengan ak adalah amplitudo sinyal, τk adalah *excess delay*, dan $P(\tau k)$ adalah daya sinyal terima dalam kanal *multipath*.

2.2.4.3 *Root Mean Square Delay Spread*

Root Mean Square (RMS) Delay Spread merupakan nilai momen pusat kedua dari PDP. *RMS delay spread* dapat dianggap sebagai standar deviasi dari *mean excess delay* yang berbanding lurus dengan daya sinyal terima [14]. *RMS delay spread* σ_{τ} dapat dihitung sebagai:

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\bar{\tau}^2 - (\bar{\tau})^2}. \quad (2.8)$$

Rasio dari *RMS delay spread* dan durasi simbol digunakan untuk menghitung kekuatan ISI. Rasio ini juga menentukan kompleksitas dari *equalizer* yang diperlukan pada sisi *receiver*. Ketika durasi simbol lebih besar 10 kali dari

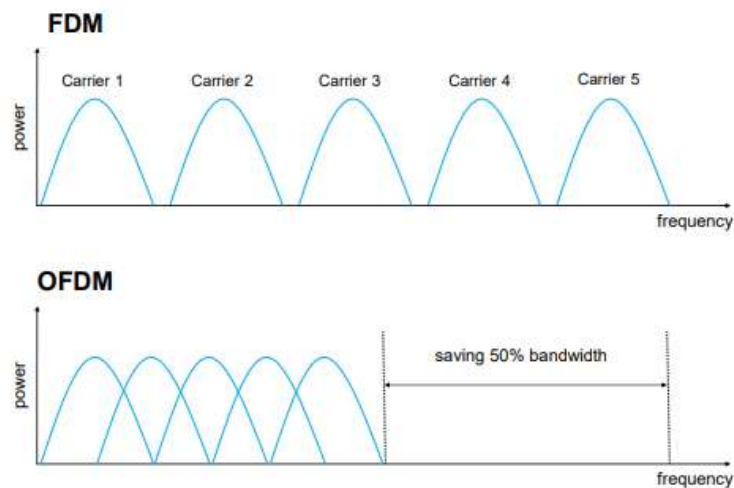
RMS *delay spread*, maka *equalizer* tidak diperlukan di *receiver* [14]. Selain itu, kanal mengalami *frequency-flat fading* ketika memenuhi kondisi

$$\frac{\sigma_{\tau}}{T_s} \leq 0,1, \quad (2.9)$$

Dengan T_s adalah durasi simbol.

2.2.5 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

Orthogonal Frequency Division Multiplexing atau OFDM merupakan sebuah skema untuk mengirimkan banyak informasi atau *multicarrier* dengan alokasi frekuensi tertentu untuk transmisi data berkecepatan tinggi melalui kanal *multipath fading*. OFDM mengatur kanal *frequency-selective fading* agar dapat diklasifikasikan sebagai kanal *frequency-flat fading* dalam sistem transmisi. Dengan menggunakan teknologi OFDM, meskipun jalur komunikasi yang digunakan memiliki karakteristik *frequency-selective fading* (dimana *bandwidth* dari *channel* lebih sempit daripada *bandwidth* dari transmisi sehingga mengakibatkan pelemahan daya terima secara tidak seragam), tetapi tiap *sub carrier* dari sistem OFDM hanya *mengalami flat fading* (pelemahan daya terima secara seragam). Pelemahan yang disebabkan oleh *flat fading* ini lebih mudah dikendalikan, sehingga performansi dari sistem mudah untuk ditingkatkan. OFDM mampu menghilangkan gangguan *inter-symbol interference* (ISI) dan *inter-carrier interference* (ICI) melalui penggunaan *cyclic prefix* (CP). OFDM dianggap sebagai penerus teknik *frequency division multiplexing* (FDM) yang mampu menghilangkan ketidakefisienan dalam saluran seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.4 dengan memanfaatkan *subcarriers* yang saling tegak lurus (*orthogonal subcarriers*) [15].



Gambar 2.4 Efisiensi penggunaan OFDM dibandingkan dengan FDM [15].

2.2.5.1 OFDM Numerology

OFDM Numerology untuk 5G diperlukan karena penerapan teknologi radio akses 5G NR mempunyai opsi kategori frekuensi dibawah 6 GHz dan diatas 6 GHz sehingga OFDM tunggal tidak bisa memenuhi kebutuhan dari performansi dari semua rentang frekuensi yang diimplementasikan. Sehingga diperlukannya OFDM numerology untuk 5G radio access technology (RAT) yang bisa dilihat pada tabel 2.1 [16].

Tabel 2.1 Subcarrier spacing, jumlah simbol dan slot OFDM [16].

Parameter/Numerology (μ)	0	1	2	3	4
Subcarrier Spacing (KHz)	15	30	60	120	240
OFDM Symbol Duration (μ s)	66.7	33.3	16.7	8.33	4.17
Cyclic Prefix Duration (μ s)	4.7	2.3	1.2 (Normal CP), 4.13 (Extended CP)	0.59	0.29
Max. nominal system BW (MHz)	50	100	100 (sub-6 GHz), 200 (mmwave)	400	400
FFT size (max.)	4096	4096	4096	4096	4096

<i>Symbol per slot</i>	14	14	14 (<i>normal CP</i>), 12 (<i>extended CP</i>)	14	14
<i>Slot per subframe</i>	1	2	4	8	16
<i>Slot per frame</i>	10	20	40	80	160

3GPP memiliki spesifikasi pembekuan untuk 5G NR memberikan daftar band tempat NR (*New Radio*) dapat beroperasi. Sesuai 3GPP rilis 15, pita frekuensi ini didesain untuk rentang frekuensi yang berbeda (FR) dan spesifikasi saat ini (Rilis) mendefinisikannya sebagai FR1 (*frequency range 1*) dan FR2 (*frequency range 2*). Tabel 2.2 ini menunjukkan rentang frekuensi yang sesuai untuk setiap FR [16].

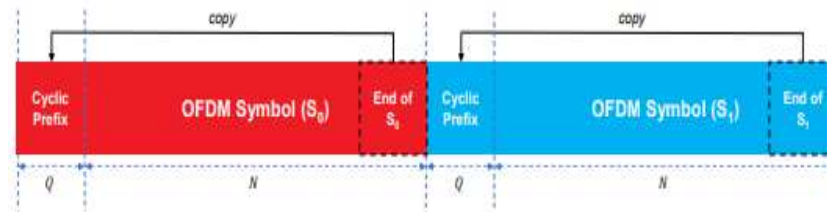
Tabel 2.2 Rentang Frekuensi pada FR 1 dan FR 2 [16].

<i>Frequency Range Designation</i>	<i>Corresponding Frequency Range</i>
FR 1 (<i>Frequency Range 1</i>)	410 MHz – 7125 MHz
FR 2 (<i>Frequency Range 2</i>)	24250 MHz – 52600 MHz

2.2.6 *Cyclic Prefix (CP)*

Cyclic Prefix (CP) mengacu pada awalan simbol OFDM yang merupakan pengulangan bagian akhir dari simbol OFDM seperti yang telah ditunjukkan oleh Gambar 2.5, di mana Q merupakan panjang CP dan panjang simbol informasi dinyatakan dengan N . CP digunakan dalam OFDM untuk mengatasi efek dari ISI akibat kanal *multipath fading*. Simbol yang telah dilengkapi CP akan mampu dilakukan *recovery* dengan baik oleh sisi penerima (*receiver*) walaupun terkena *interferensi fading* dari kanal yang cukup besar. Dalam *CP-orthogonal frequency division multiplexing (CP-OFDM)*, satu blok simbol kompleks dipetakan ke dalam satu pasang *orthogonal carriers*. Arsitektur CP-OFDM memiliki kompleksitas yang rendah karena penggunaan *Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)* dalam OFDM. Selain itu, panjang CP diusahakan sama atau lebih besar dari jumlah *path* dalam *power delay profile (PDP)* untuk menjamin kinerja sistem yang terbebas dari gangguan *Inter-Symbol Interference (ISI)* [16]. Penggunaan CP-OFDM memiliki beberapa fungsi yaitu:

1. Menghindari *Inter-Symbol Interference* (ISI) sehingga kinerja sistem menjadi lebih baik. Panjang *cyclic prefix* yaitu sama atau lebih dari jumlah PDP.
2. Penyedia *guard interval* untuk menghapus *Inter-Symbol interference* (ISI) dari simbol seluruhnya.
3. Menyalin simbol akhir. Bagian akhir dari tiap simbol disalin untuk memperoleh *cyclic prefix* dan diletakan pada awal simbol.



Gambar 2.5 Ilustrasi penambahan CP-OFDM [16].

2.2.7 Channel Coding

Channel coding digunakan untuk menjaga informasi atau data dari *error* yang mungkin terjadi selama proses pentransmisian data dengan cara menambahkan *bit* redundansi (*bit parity*) ke dalam *bit* informasi yang akan dikirimkan melewati kanal. *Channel code* yang berfungsi untuk mendeteksi kesalahan *bit* informasi disebut dengan *error detection code*, sedangkan yang berguna untuk mengoreksi kesalahan *bit* informasi disebut *error correction code* [17].

2.2.8 Convolutional Codes

Convolutional codes merupakan salah satu jenis kode yang bisa mengoreksi *error* yang terjadi saat proses pentransmisian informasi. *Coding* dalam *convolutional* ini merupakan suatu metode penyandian yang diterapkan pada data, dimana data tersebut mempunyai peluang untuk terganggu oleh *Gaussian noise*. *Gaussian noise* adalah suatu *noise* yang mempunyai distribusi normal. *Convolutional code* menggunakan suatu *shift register* yang berhubungan dengan logika kombinatorial dengan menggunakan penjumlahan modulus dua. *Convolutional Code* didefinisikan dengan (n, k, m) yang diimplementasikan dengan suatu rangkaian linear k (*input*), n (*output*) dan m (*memory*). n dan k adalah bilangan bulat dengan *rate* kode yang didefinisikan $R = k/n$ atau $k < n$. Komponen lainnya

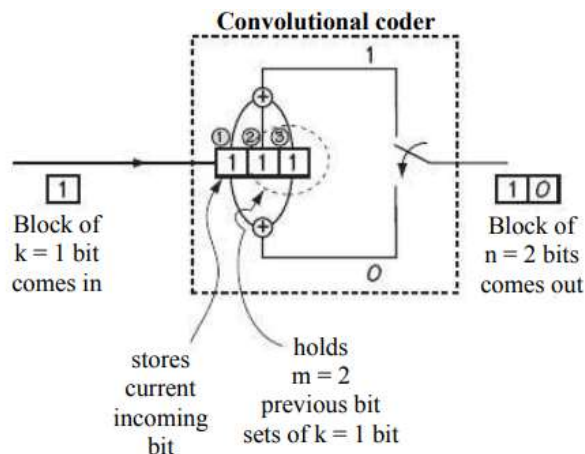
pada *convolutional codes* yaitu gerbang XOR, dimana gerbang logika XOR berupa *adder* atau (penjumlahan modulus dua) [18].

Tabel 2.3 Tabel Gerbang Logika XOR [18].

<i>Input A</i>	<i>Input B</i>	<i>Output</i>
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

2.2.8.1 Encoder Convolutional Codes

Encoder pada *channel coding* berfungsi sebagai rangkaian untuk mengkodekan data input menjadi *codeword*. *Convolutional Code* ini dibentuk dengan menambah informasi tambahan (*parity*) berdasarkan *bit inputan* ($u = u_1, u_2, \dots, u_i$) yang sedang diproses dan *diconvolutionalkan* dengan m kode data sebelumnya, dimana m adalah panjang *memory* atau *shift register* dari kode. Jika panjang *memory* m , maka jumlah *state memory* (isi memori) adalah 2^m . Pada *convolutional code* ini, *bit data* diberikan pada laju $k = 1$ bit per satuan waktu. Simbol *output* pada laju $m = 2k = 2$ simbol per satuan waktu. *Bit input*-nya akan bergeser selama siklus pengkodean. Gambar dibawah akan menjelaskan mengenai contoh pada *convolutional code*:



Gambar 2.6 Encoder Convolutional Code dengan Shift Register [18].

Panah pada gambar diatas sebelah kiri menunjukkan dimana *bit input* dengan $k = 1$, *bit input* dalam 1 bit per satuan waktu. Kotak dengan garis petunjuk $k = 1$ bit berjalan ke dalam yang artinya untuk menampilkan 3bit *shift register* dan *output*

menghasilkan 2 bit. Rangkaian *convolutional code* di atas menggunakan pola C (2, 1, 2) dengan kode rate $R = \frac{1}{2}$ [18].

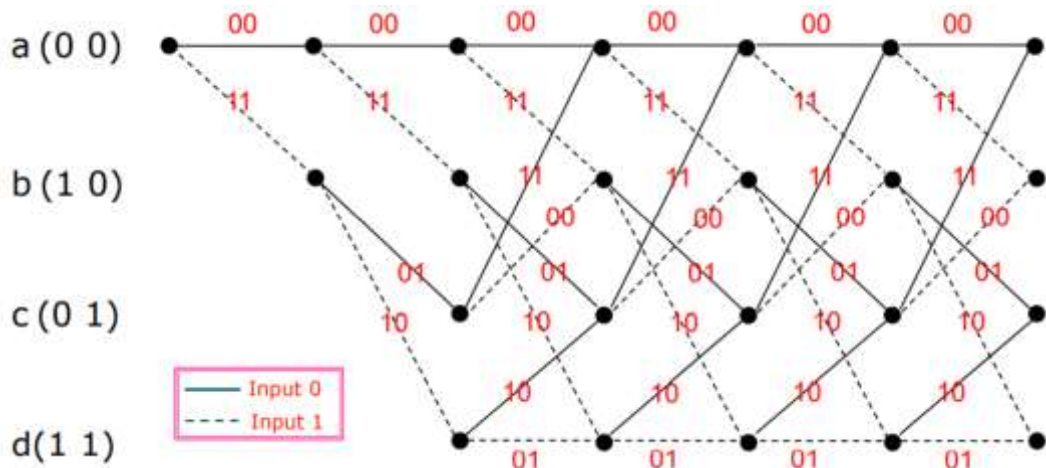
Time	Input bit	Shift register Contents			Output bits	
		bit 1	bit 2	bit 3	bit 1	bit 2
		①	②	③		
0	-	0	0	0		
1	1	1	0	0	1	1
2	0	0	1	0	1	0
3	1	1	0	1	0	0
4	0	0	1	0	1	0
5	0	0	0	1	1	1

Gambar 2.7 Contoh Sistem Kerja *Convolutional Code* [18].

Pada Gambar 2.7 sebelum dimulai pada *time* 0 di *shift register*-nya diberi *bit* 0 seluruhnya, untuk *time* 1 dimana *input bit* 1 diletakkan di posisi pertama pada *shift register*, selanjutnya 0 0 pada posisi kedua dan ketiga, jadi *shift register*-nya yaitu 1 0 0. Untuk hasil *bit output pertama* adalah $1 + 0 + 0$ (Modulus 2) = 1 dan *bit output* kedua adalah $1 + 0$ (modulus 2) = 1, jadi hasil *bit output*-nya 1 1, begitu seterusnya pada *time* berikutnya [18].

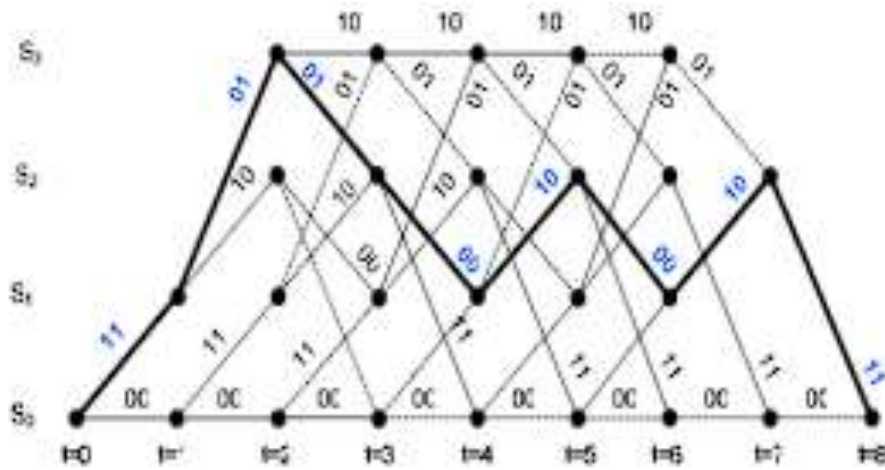
2.2.8.2 Decoder *Convolutional Code*

Algoritma *viterbi* berperan sebagai *decoding* dari pengkodean kanal *convolutional code*. *Decoding* merupakan proses mengembalikan bit informasi yang telah mengalami proses *encoding* menjadi bit informasi yang sesungguhnya. Algoritma *viterbi* menggunakan persyaratan algoritma *maximum likelihood* atau mencari kemungkinan bit yang paling mirip. Pada proses *decoding* bekerja dengan prinsip *maximum likelihood* untuk mencari kemungkinan dari *bit* yang paling mirip atau nilai *distance* yang paling kecil. Nilai tersebut merupakan nilai yang digunakan untuk menentukan jalur selanjutnya pada diagram *trellis* [18].



Gambar 2.8 Diagram *Trellis* pada *Convolutional Codes* [18].

Contoh pengkodean pada *convolutional codes* menghasilkan keluaran pengkode dengan *code rate* 1/2 dengan urutan (10,01,01,01,10,00,10,11). Hasil pengkode ini selanjutnya dikirimkan pada kanal transmisi yang tercampur derau. Dan pada bagian penerima dimisalkan diperoleh urutan kode (11,01,01,00,10,00,10,11). Dari perbandingan kode keluaran pengkode (*encoder*) konvolusi dan kode terima pada pendekode (*decoder*) *viterbi*, terlihat adanya perbedaan yang ditimbulkan oleh derau pada kanal [19].

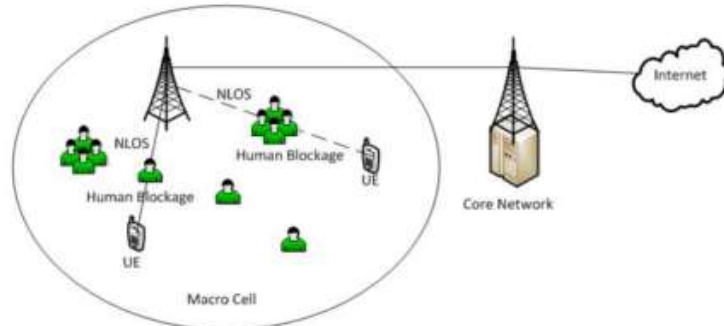


Gambar 2.9 Contoh Penggunaan Diagram *Trellis* pada *Decoding* [19]

2.2.9 Human Blockage

Human blockage disebabkan oleh adanya sebuah hambatan dari tubuh *user* yang berada didekat telepon seluler yang menyebabkan terjadinya *shadowing loss* dalam beberapa ratus *millisecond*. Contoh dari *human blockage* yaitu ada

banyaknya *user* didalam suatu tempat yang ramai seperti pasar, stadion, tempat perbelanjaan dan tempat ramai lainnya disekitar wilayah penerima sehingga menyebabkan hambatan dalam proses pengiriman data [20].



Gambar 2.10 Model Sistem *Human Blockage* [20].

2.2.10 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) adalah pengembangan dari modulasi PSK. QPSK memiliki empat buah bentuk sinyal termulasi. Sinyal termulasi QPSK didapatkan dari empat macam sinyal masukan yang berbeda, yaitu 00, 01, 11 dan 10. Setiap dua *bit biner* diwakili satu simbol. Keempat buah bentuk sinyal termulasi QPSK masing-masing memiliki beda fasa 90° satu sama lain. Bentuk persamaan dari sinyal QPSK adalah seperti berikut ini [21]:

$$S_{00} = A\sqrt{2} \sin 2\pi f_c t - 135^\circ \quad (2.10)$$

$$S_{01} = A\sqrt{2} \sin 2\pi f_c t - 45^\circ \quad (2.11)$$

$$S_{10} = A\sqrt{2} \sin 2\pi f_c t + 135^\circ \quad (2.12)$$

$$S_{11} = A\sqrt{2} \sin 2\pi f_c t + 45^\circ \quad (2.13)$$

Keterangan:

A = Amplitudo (V)

f_c = Frekuensi (Hz)

t = Waktu (s)

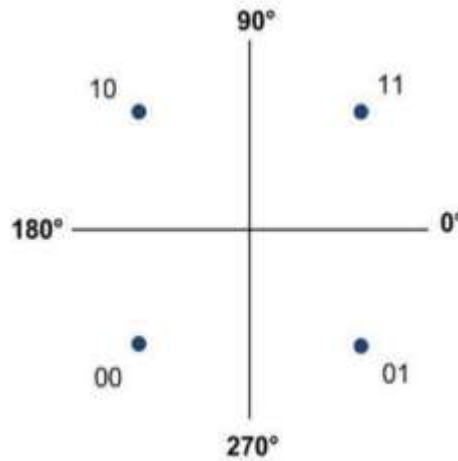
S₀₀ = Simbol *bit* 00

S₀₁ = Simbol *bit* 01

S₁₀ = Simbol *bit* 10

S₁₁ = Simbol *bit* 11

Untuk *bit* (1 0) mempunyai *phase* +135°, sedangkan untuk *bit* (1 1) mempunyai *phase* +45°. Diagram konstelasi dari modulasi digital QPSK adalah seperti gambar berikut:



Gambar 2.11 Diagram Konstelasi QPSK [21].

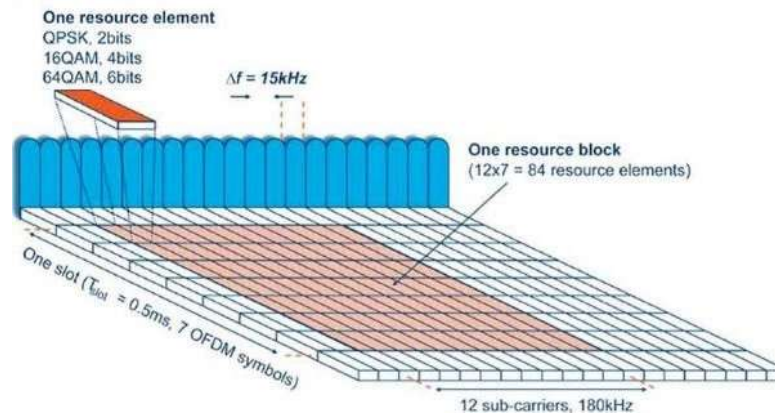
2.2.11 Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate (BER) merupakan nilai yang menunjukkan jumlah terjadinya *error* tiap jumlah *bit* data yang terkirim. Jumlah *bit* yang *error* merupakan jumlah *bit* yang diterima yang telah berubah pada saluran komunikasi karena adanya *noise*. BER juga disebut dengan probabilitas munculnya *error* pada transmisi data atau *error probability*. Semakin kecil nilai dari BER maka semakin baik pula informasi yang didapatkan. Berikut persamaan untuk menghitung nilai BER [18]:

$$BER = \frac{\text{Jumlah Bit Error}}{\text{Jumlah Bit yang Dikirim}} \quad (2.14)$$

2.2.12 Resource Block

Resource Block adalah suatu blok transmisi pada OFDM yang disusun dari domain waktu dan frekuensi. *Resource block* terdiri dari 12 *subcarriers* dengan masing-masing *subcarrier* sebesar 15 kHz dan terdapat 7 OFDM symbol atau satu slot sebesar 0.5 ms. Sehingga dalam 1 *resource block* *bandwidth*-nya sebesar 15 kHz x 12 *subcarriers* = 180 kHz. Bagian terkecil *resource block* adalah *resource element* atau RE. Dalam satu *resource block* terdapat 12 *subcarriers* x 7 OFDM symbol = 84 *resource element*. Gambar 2.12 menunjukkan *resource block* [22].



Gambar 2.12 *Resource Block*

3GPP 38.101 telah menentukan konfigurasi *bandwidth* transmisi maksimum untuk setiap saluran UE *channel* dan *sub-carrier spacing* yang disediakan dalam tabel di bawah ini. Nomor *resource block* yang ditampilkan adalah setelah menghapus *guard band* dari *channel bandwidth* dan *bandwidth* maksimum yang dipertimbangkan adalah 100 MHz [22].

Tabel 2.4 Konfigurasi *bandwidth* transmisi maksimum dan *sub-carrier spacing*

μ	SCS KHz	Supported Bandwidth	Min. Guard Band	Max Number of RB N_{RB}
0	15 KHz	50 MHz	692,5 KHz	270
1	30 KHz	100 MHz	845 KHz	273
2	60 KHz	100 MHz	1370 KHz	135