

BAB II DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

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

Peneliti [1] meneliti tentang “Perbandingan Performasi *Polar Codes* dan *Repetition Codes* Terhadap Kanal *Multipath* Pada sistem komunikasi 5G”. Pada penelitian tersebut melakukan simulasi dan analisis teknik pengkodean *polar codes* dan *repetition codes* pada pemodelan kanal 5G *multipath* dengan menggunakan modulasi 16 QAM dan menggunakan teknik *multicarrier CP-OFDM numerology* 2. Penelitian tersebut juga 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 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* [1].

Peneliti [7] meneliti tentang “A *Milimeter – Wave Channel Simulator NYUSIM With Spatial Consistency and Human Blockage*” yang membahas tentang NYUSIM 2.0, simulator saluran yang ditingkatkan yang konsisten secara spasial berdasarkan simulator berbasis *drop* NYUSIM 1.6.1. Pendekatan berbasis geometri yang menggunakan permukaan *refleks* ganda yang diusulkan untuk menghasilkan koefisien saluran yang berkorelasi spasial dan varian waktu. Untuk memodelkan kehilangan jalur berlebih akibat penetrasi ke dalam gedung, model parabola untuk kehilangan penetrasi luar ke dalam ruangan telah diadopsi dari grup minat khusus Pemodelan Saluran 5G dan diimplementasikan di NYUSIM 2.0 [7].

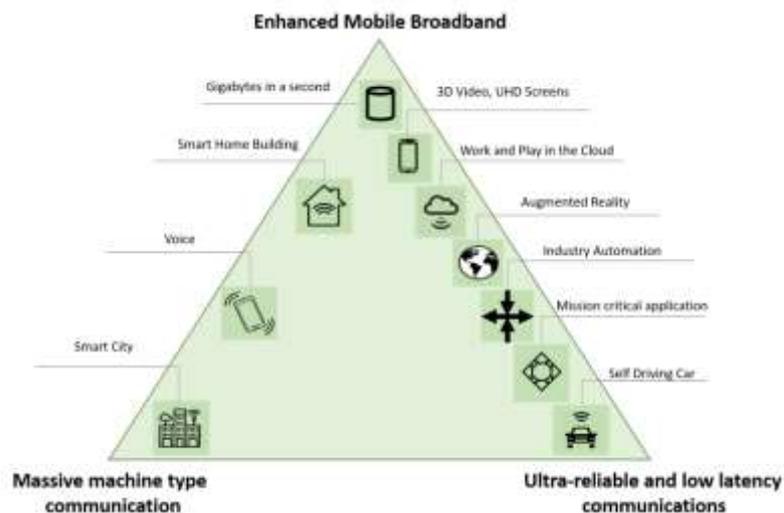
Peneliti [8] meneliti tentang “*Humidity Effect to The Indonesia 5G Channel Model at 3,3 GHz*”, dengan menggunakan frekuensi 3,3 GHz, *bandwidth* sebesar 99

MHz, dan menggunakan modulasi C-BPSK. Kemudian menggunakan parameter keadaan alam di daerah 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 5 mendapatkan hasil model 5G yang diusulkan dengan kelembapan maksimum dan kelembapan minimum mempunyai 9 jalur. *Outage performance* yang akan dijadikan referensi teoritis menggunakan performa BER untuk CP-OFDM *numerology* $\mu = 1$ dengan modulasi 5G C-BPSK kode *convolutional* [8].

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Teknologi 5G New Radio (NR)

Teknologi 5G merupakan sebuah istilah yang digunakan untuk menyebutkan generasi kelima sebagai tingkatan berikutnya dari standar telekomunikasi seluler yang melebihi standar sebelumnya yaitu 4G. Teknologi 5G diperkirakan akan menggunakan frekuensi yang sangat tinggi yaitu 1 GHz sampai 100 GHz, jika dibandingkan dengan rentang frekuensi sebelumnya pada 4G yaitu sekitar 900 MHz-2300 MHz. Penggunaan frekuensi yang sangat tinggi ini akan menghadirkan polemik baru di kalangan ilmuwan yaitu permasalahan redaman propagasi gelombang yang akan dipengaruhi oleh kondisi alam [9].



Gambar 2. 1 Skenario penggunaan IMT for 2020 and *beyond* [9]

Pada Gambar 2.1 di atas ini ada merupakan sebuah skema yang dibentuk oleh *international mobile telecommunication* (IMT) yang selaras dengan *international telecommunication union* (ITU) terhadap teknologi 5G yang akan diimplementasikan nantinya pada tahun 2020, dimana ujung dari skema tersebut adalah nanti teknologi 5G akan mengalami peningkatan penggunaan *broadband* seluler. Skema yang dibentuk oleh IMT for 2020 and *beyond* memaparkan skenario untuk mendukung penggunaan 5G NR sebagai berikut:

1. *Enhanced mobile broadband* (eMBB) merupakan layanan *mobile broadband* untuk terus meningkatkan konten multi-media, data dan layanan. Skenario (eMBB) akan direalisasikan dengan aplikasi dan persyaratan tambahan guna untuk meningkatkan performansi dan *user experience* tanpa hambatan.
2. *Ultra-reliable and low latency communications* (URLLC) merupakan layanan *mobile broadband* yang penggunaannya harus memiliki persyaratan yang ketat untuk kemampuan *throughput*, *latency* dan *availability*, beberapa contoh penerapannya adalah *industrial manufacturing by using wireless control*, pembedahan medis jarak jauh, keamanan transportasi dan lain-lain.
3. *Massive machine type communication* (MMTC) merupakan layanan *mobile broadband* yang dikarakteristikan pada jumlah *device* yang terkoneksi dalam jumlah yang besar. Ketentuan *device* diharuskan memiliki jangkauan yang luas dan memiliki baterai yang tahan lama [6].

2.2.2 Kanal Broadband

Kanal adalah media yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal antara antena pengirim dan antena penerima yang perlu di modelkan sehingga menghasilkan desain sistem komunikasi yang meminimalkan *error* dan memaksimalkan transmisi informasi atau kecepatan data. Karakteristik yang menentukan kanal *wireless* pada komunikasi bergerak adalah variasi dari kekuatan kanal dari waktu ke waktu dan tiap frekuensi yang dibagi menjadi dua tipe sebagai berikut:

1. *Large-scale fading* dan *small-scale fading*. *Large-scale fading* yang disebabkan *path loss* pada sinyal sebagai fungsi dari jarak dan *shadowing* dari objek yang besar seperti bangunan dan bukit. *Large-scale fading* lebih relevan pada masalah seperti perencanaan *cell-site*.
2. *Small-scale fading* yang disebabkan 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 [10].

2.2.3 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 [3]:

$$C = B \cdot \log_2(1 + |h|^2 \cdot \gamma) \quad (2.1)$$

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)* [3]. Perhitungan kapasitas terhadap *energy per bit to noise power spectral density ratio (Eb/N0)* dinyatakan dengan

$$C = B \cdot \log_2(1 + |h|^2 \cdot \frac{E_b}{N_0} \cdot M \cdot R) \quad (2.2)$$

dengan *M* adalah indeks modulasi dan *R* adalah *channel coding rate* $R = (1, 1/2)$.

Keterangan :

C = Kapasitas dari kanal (bit/detik)

B = *Bandwidth* (MHz)

h = kanal

γ = *Signal to noise ratio (SNR)* (dB)

M = Indeks modulasi

R = *Coding rate*

2.2.4 Kanal Broadband

Kanal *broadband* merupakan kanal *multipath* yang memiliki kapasitas kanal yang luas. Sistem *broadband* akan mengalami *frequency selective* atau *disperse*

delay. Pada saat sinyal bukan *narrowband* maka akan terjadi distorsi dikarenakan oleh *multipath fading*, Kapasitas kanal berdasarkan teori *Shannon* pada kanal *broadband* sebagai berikut :

$$C \approx \frac{B}{N} + \sum_{n=1}^N \log_2(1 + (|\Psi_n|^2 \cdot \gamma)) \quad (2.3)$$

Keterangan :

N = Panjang blok transmisi

Ψ_n = *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, rumus untuk hubungan SNR dengan E_b/N_0 didefinisikan sebagai berikut [3]:

$$\psi_n = \text{diag} [F \cdot H_c \cdot F^H] \quad (2.4)$$

Keterangan :

R = *Channel coding rate*

Ψ_n = *Multipath*

$\frac{E_b}{N_0}$ = Energi bit / *Noise* (dB)

M = Indeks modulasi

N = Panjang Blok transmisi (*block*)

Q = Panjang *cyclic prefix*

F = Matriks *Fast Fourier Transform* (FFT)

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

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

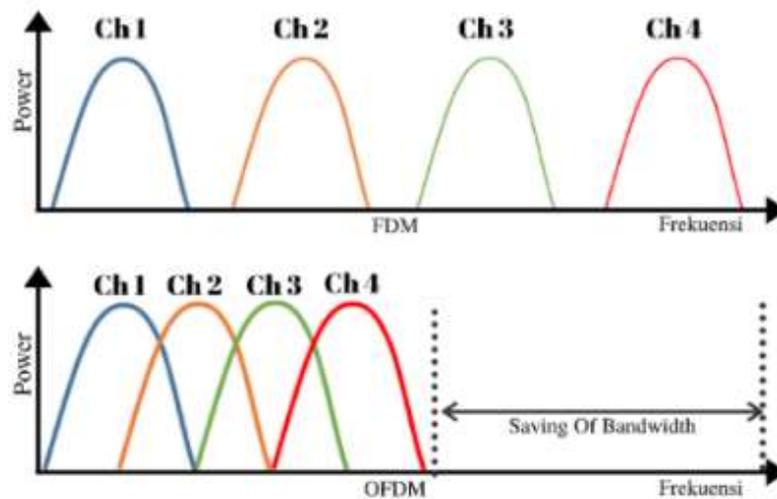
2.2.5 Kanal SSCM (*Stastical Spasial Channel Model*)

Struktur SSCM ini dilatarbelakangi oleh pengukuran lapangan, yang memiliki dan menunjukkan bahwa beberapa jalur dalam klaster waktu dapat tiba pada sudut titik yang unik, dapat dideteksi karena antena *directional gain* tinggi, dan statistik *spasial* secara terpisah. Definisi klaster waktu di sini mempertimbangkan komponen *multipath* yang berjalan dekat dalam waktu, tetapi itu bisa datang dari banyak arah sudut. Kanal SSCM termasuk dalam jenis kanal *broadband* yang dikembangkan oleh *New York University* (NYU) dan

diimplementasikan pada simulator NYUSIM. Kondisi kanal menunjukkan hasil yang hampir sama dengan pengukuran sebenarnya. Adapun beberapa *channel parameters* masukan untuk membangkitkan kanal SSCM seperti, frekuensi, radius sel, parameter lingkungan (Kelembaban udara, curah hujan, suhu, dan tekanan udara). Kanal SSCM dapat menampilkan adanya perbedaan *multipath* yang dilihat dari nilai PDP [3].

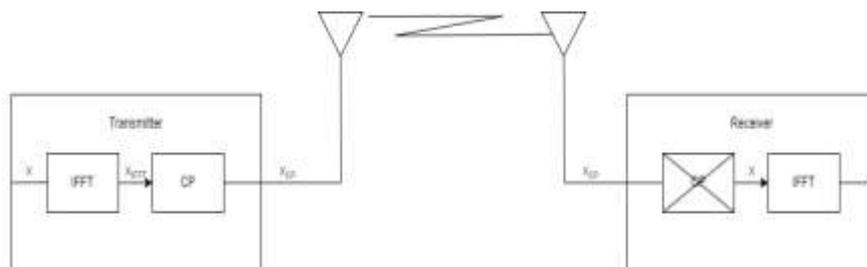
2.2.6 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

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*. *Fast Fourier Transform (FFT)* adalah *algoritma efisien* yang biasa digunakan untuk mengubah sinyal domain waktu menjadi sinyal domain frekuensi, berdasarkan *Discrete Fourier Transform (DFT)*. DFT mengkonversi *sequence* dalam domain waktu menjadi *sequence* domain frekuensi. FFT merupakan algoritma yang sangat efisien berdasar pada DFT, tapi dengan komputasi yang lebih sedikit. FFT merupakan satu dari banyak yang biasa dipakai untuk proses sinyal digital untuk analisis spektrum frekuensi. Dua prosedur yang berbeda untuk menghitung FFT: *decimation-in-frequency* dan *decimation-in-time* [1].



Gambar 2. 2 Konsep OFDM

Berdasarkan Gambar 2.2 menunjukkan perbedaan antara Teknik OFDM dan FDM (*Frequency Division Multiplexing*), dimana sistem OFDM memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan FDM. Perbedaan yang mendasar terletak pada frekuensi *sub-carrier*, dimana pada sistem OFDM frekuensi *sub-carrier* diperbolehkan untuk saling tumpang tindih sehingga dapat meminimalisir *bandwidth* dan meningkatkan kapasitas kanal serta mengurangi efek *multipath fading*. Efek dari *multipath fading* tersebut kerap menyebabkan ISI (*Inter-Symbol Interference*) selama proses transmisi.



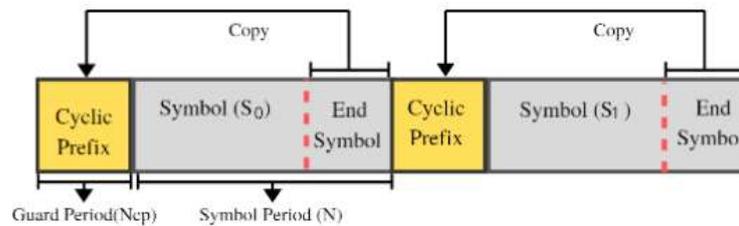
Gambar 2. 3 Struktur OFDM

Pada Gambar 2.3 Transmitter (*Serial to Parallel*) berfungsi untuk mengubah bit *stream* (deretan bit sebagai input data) dalam bentuk Serial menjadi Paralel. perubahan ini mempengaruhi kecepatan data. jika bit rate semula adalah R , maka bit *rate* pada tiap-tiap jalur paralel adalah R/N , dimana N adalah jumlah jalur paralel (sama dengan jumlah subcarrier). Menuju ke IFFT (*Invers Fast Fourier*

Transform) yaitu Kemudian memasuki pada tahap inti OFDM yaitu IFFT dimana ia sebagai pembuat simbol OFDM dalam domain waktu. IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) berfungsi untuk membangkitkan *subcarrier* dengan frekuensi yang berbeda dan saling *overlap*. Blok ini juga mengubah sinyal dari domain frekuensi ke domain waktu, sehingga sinyal bit data yang dalam bentuk diskrit kemudian diubah menjadi domain waktu yang sifatnya kontinu. Penggunaan IFFT ini memungkinkan pengalokasian frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Pada Kemudian sinyal dari IFFT masuk ke dalam *Add Cyclic Prefix*, blok ini berfungsi untuk mencegah terjadinya interferensi antar *symbol*. *Symbol* adalah istilah untuk setiap sinyal yang keluar dari IFFT. Karena sinyal-sinyal tersebut nantinya akan dikonvert kembali ke bentuk serial maka diperlukan blok *cyclic prefix*. *Cyclic Prefix* ini memberikan sinyal tambahan atau guard interval di depan sinyal *symbol* sebagai tanda setiap *symbol* dan sebagai guard band pada saat *symbol* dikonvert menjadi serial kembali. Syarat agar tidak terjadi ISI yaitu durasi dari *cyclic prefix* harus lebih panjang dari durasi dari *delay multipath*. Alasan guard interval terdiri dari salinan dari akhir simbol OFDM adalah agar penerima nantinya mengintegrasikan masing-masing *multipath* melalui angka integer darisiklus sinusoid ketika proses demodulasi OFDM dengan FFT. *Receiver (Serial to Parallel)* informasi yang tadinya dalam bentuk serial dikonversikan kembali ke dalam bentuk paralel untuk mempercepat data rate, sama seperti pada bagian *transmitter*. *Remove Cyclic Prefix* menghilangkan salinan dari bagian akhir simbol OFDM yang tadinya ditambahkan pada awal simbol OFDM agar data asli yang dikirimkan sampai ke penerimatan padanya tambahan data yang tidak penting. IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) berfungsi untuk membangkitkan *subcarrier* dengan frekuensi yang berbeda dan saling *overlap*. Blok ini juga mengubah sinyal dari domain frekuensi ke domain waktu, sehingga sinyal bit data yang dalam bentuk diskrit kemudian diubah menjadi domain waktu yang sifatnya kontinu. Penggunaan IFFT ini memungkinkan pengalokasian frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Pada Kemudian sinyal dari IFFT masuk ke dalam *Add Cyclic Prefix*, blok ini berfungsi untuk mencegah terjadinya interferensi antar *symbol*. *Symbol* adalah istilah untuk setiap sinyal yang keluar dari IFFT.

2.2.6.1 Cyclic Prefix (CP)

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 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.



Gambar 2. 4 Ilustrasi Cyclic Prefix

Pada Gambar 2.4 menunjukkan konsep dari *Cyclic Prefix* (CP), menyalin bagian akhir dari simbol sebagai awalan dari simbol. *Cyclic prefix* (CP) secara umum memiliki dua tujuan:

1. Menyediakan *guard interval* untuk menghilangkan *Inter Symbol Interference* (ISI) dari simbol sebelumnya
2. Menyalin simbol terakhir, sehingga konvolusi linier dari saluran *frequency selective channel* dapat dihitung sebagai *circular convolution*, untuk menyederhanakan estimasi *channel* dan *equalization*.

2.2.7 Numerology OFDM

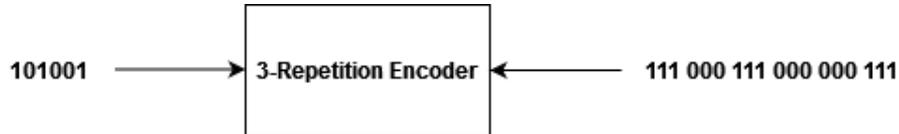
Penerapan teknologi radio akses 5G NR mempunyai pilihan kategori frekuensi dibawah 6 GHz maka memerlukan *support* layanan yang berbeda. OFDM tunggal tidak bisa memenuhi kebutuhan dari performansi semua rentang frekuensi yang diimplementasikan sehingga diperlukannya *numerology* OFDM untuk 5G *radio access technology* (RAT) yang diperlihatkan pada Tabel 2.1 [1]. Pada penelitian ini menggunakan OFDM *numerology* 1.

Tabel 2. 1 Numerology OFDM Pada 5G [1].

| Parameter/Numerology (μ) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| <i>Subcarrier Spacing</i> (KHz) | 15 | 30 | 60 | 120 | 240 |
| <i>OFDM Symbol Duration</i> (μ s) | 66.67 | 33.33 | 16.67 | 8.33 | 4.17 |
| <i>Cyclic Prefix Duration</i> (μ s) | 4.69 | 2.34 | 1.17 | 0.57 | 0.29 |
| <i>OFDM Symbol incl. CP</i> (μ s) | 71.35 | 35.68 | 17.84 | 8.92 | 4.46 |
| <i>Bandwidth minimum</i> (MHz) | 4.32 | 8.64 | 17.28 | 34.56 | 69.12 |
| <i>Bandwidth maximum</i> (MHz) | 49.5 | 100 | 198 | 396 | 397.44 |

2.2.8 Repetition Codes

Repetition codes merupakan sebuah *correcting codes* yang paling sederhana dari *correcting codes* yang lain. *repetition codes* bekerja dengan cara melakukan perulangan, dengan harapan *error* yang terjadi pada kanal hanya merusak sedikit bagian dari pengulangan yang telah dilakukan. Implementasi yang mudah karena memiliki kompleksitas yang rendah, merupakan daya tarik utama dari penggunaan *repetition codes* [1].



Gambar 2. 5 Konsep *Repetition Codes*

Tabel 2. 2 Contoh *Encoder Repetition Codes*[1].

| <i>Coding Rate</i> | <i>Message bit</i> | <i>Encoded data</i> |
|--------------------|--------------------|---------------------|
| 1/3 | 0 | 000 |
| | 1 | 111 |

Tabel 2.2 merupakan contoh *encoder* pada *channel coding repetition codes*. Sistematis *repetition codes* dapat dinyatakan dengan (n,k) dengan n merupakan jumlah *codeword* dan k merupakan jumlah *bit* asli. Jumlah *bit* asli (k) pada *repetition codes* biasanya bernilai 1. *Codeword* dapat dinyatakan dengan [1].

$$cr = m \times G \quad (2.5)$$

dengan m merupakan bit asli dan G merupakan matriks generator. Matriks *generator* dapat dinyatakan dengan $G = [P|I_k]$ dengan P merupakan *parity bit*. Sedangkan untuk matriks *parity check* dapat dinyatakan dengan: [10].

$$H = [I_{n-k} / P^T] \quad (2.6)$$

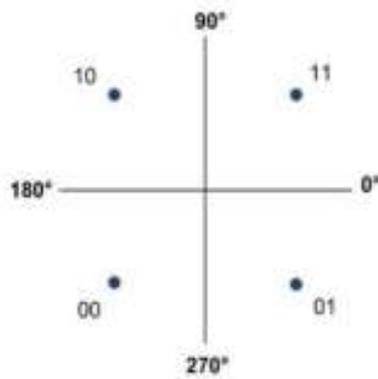
Tabel 2. 3 Cara kerja *repetition codes* untuk mengoreksi *error*

| <i>Message</i> | <i>Uncoder</i> | <i>Error</i> | <i>Received</i> | <i>Decoder</i> | <i>Effect</i> |
|----------------|----------------|--------------|-----------------|----------------|-------------------------|
| 1 | 111 | 000 | 111 | 1 | <i>Corrected Errors</i> |
| 1 | 111 | 001 | 110 | 1 | <i>Corrected Errors</i> |
| 0 | 000 | 010 | 010 | 0 | <i>Corrected Errors</i> |
| 0 | 000 | 110 | 110 | 1 | <i>Corrected Errors</i> |

2.2.9 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

Quadrature phase shift keying merupakan teknik modulasi digital yang dikembangkan dari modulasi *Phase shift keying* (PSK) dengan memanfaatkan perubahan fasa dari sinyal pembawa. Modulasi QPSK dapat meminimalkan *Frame error rate* (FER) dengan cara mengkodekan dua bit per simbol [6]. Modulasi QPSK memiliki empat buah bentuk sinyal yang termodulasi. Sinyal termodulasi QPSK didapatkan dari empat macam sinyal masukan yang berbeda, yaitu 00, 01, 11, dan 10. Satu simbol dalam sinyal QPSK mewakili dua buah *bit* data. Dari keempat sinyal yang termodulasi QPSK masing-masing memiliki beda fasa 90° satu sama lain. Berikut bentuk persamaan dari sinyal yang termodulasi QPSK [3].

Sinyal termodulasi QPSK didapatkan dari empat macam sinyal masukan yang berbeda, yaitu 00, 01, 11 dan 10. Setiap dua bit *biner* diwakili satu simbol. Untuk bit (1 0) mempunyai $+135^\circ$, sedangkan untuk bit (1 1) mempunyai *phase* $+45^\circ$. Diagram konstelasi dari modulasi digital QPSK adalah seperti gambar 2.6 berikut:



Gambar 2. 6 Diagram Konstelasi QPSK[1].

Keempat buah bentuk sinyal termodulasi QPSK tersebut, masing-masing memiliki beda fasa 90° satu sama lain. Bentuk persamaan dari sinyal QPSK adalah seperti berikut ini [1]:

$$S_{00} = A \sqrt{2} \sin 2\pi f_c t - 135^\circ \quad (1)$$

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

$$S_{10} = A \sqrt{2} \sin 2\pi f_c t + 135^\circ \quad (3)$$

$$S_{11} = A \sqrt{2} \sin 2\pi f_c t + 45^\circ \quad (4)$$

S_{00} = Simbol bit 00

A = Amplitudo (V)

S_{01} = Simbol bit 01

f_c = Frekuensi (Hz)

S_{10} = Simbol bit 10

t = Waktu (s)

S_{11} = Simbol bit 11

Satu simbol dalam sinyal QPSK mewakili dua bit data, yaitu data I (bit urutan ganjil) dan Q (bit urutan genap). Sehingga satu simbol tersebut dapat digambarkan menggunakan bentuk fasor. Akibatnya sinyal mengalami pergeseran sebesar 45° atau -45° pada saat transmisinya. Pada gambar 2.6 dapat dilihat bahwa perbedaan sinyal yang berdekatan adalah sebesar 90° [1].

2.2.10 Outage Performance

Outage performance digunakan pada perancangan sistem komunikasi agar performansi sistem dapat dioptimal. *Outage performance* berfungsi untuk meningkatkan efisiensi daya dengan mengatur daya pancar PTx agar dapat mengikuti kurva *outage performance* untuk disetiap kapasitas dan probabilitas yang diinginkan. *Outage performance* bisa diketahui dengan cara menghitung *outage probability* dari kanal dengan rumus sebagai berikut[12].

$$P_{outage} = P r(R > C). \quad (2.7)$$

Keterangan:

R = Channel Coding Rate

C = Kapasitas dari Kanal

2.2.11 Outage Probability

Outage probability di definisikan sebagai probabilitas gagalnya pencapaian baik *signal to noise ratio* (SNR) dan *signal to interference ratio* (SIR) yang cukup untuk kualitas keberhasilan penerima [13]. *Outage probability* diperoleh dari PDP yang dibuat berdasarkan prinsip dari informasi *theory* dan *signal processing* yang nilai kapasitasnya ditentukan oleh teorema *Shannon capacity* (C) yang kemudian dibandingkan dengan *coding rate* R untuk dievaluasi oleh *outage probability*.

2.2.12 Frame Error Rate (FER)

Frame Error Rate (FER) adalah suatu perbandingan jumlah *frame* yang *error* dengan *frame* yang telah ditransmisikan. *Frame* akan *error* pada saat terdapat setidaknya satu bit dalam *frame* tersebut yang *error* [14].

$$FER = \frac{F_e}{F_t} \quad (2.8)$$

Keterangan :

F_e = Frame yang error

F_t = Frame yang ditransmisikan

2.2.13 Power Delay Profile (PDP)

Power Delay Profile (PDP) merepresentasikan daya rata-rata sebagai fungsi *delay* propagasi akibat *multipath delay* yang dialami kanal. Daya yang diterima dan

dispersifitas *multipath* dalam saluran nirkabel (*wireless*) dapat diprediksi berdasarkan nilai PDP. Saluran dapat mengalami *multipath* akibat adanya refleksi (*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*. PDP dicirikan dengan nilai *maximum excess delay*, *mean excess delay*, dan *root mean square delay spread* [15].

2.2.14 Teknik OFDM

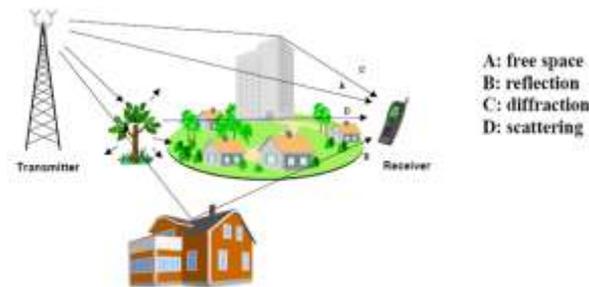
OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) adalah sebuah teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi (*multicarrier*) yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Masing-masing *sub-carrier* tersebut dimodulasikan dengan teknik modulasi konvensional pada rasio *symbol* yang rendah. Prinsip kerja dari OFDM menurut Puspito [16], adalah dengan mengkonversi deretan data informasi yang akan dikirim ke dalam bentuk *parallel*, sehingga bila *bit rate* semula adalah R, maka *bit rate* di tiap-tiap jalur *parallel* adalah R/M dimana M adalah jumlah jalur *parallel* (sama dengan jumlah *sub-carriers*). Setelah itu, modulasi dilakukan pada tiap-tiap *sub-carriers*. Modulasi ini bisa berupa *Binary Phase Shift Keying* (BPSK), QPSK, QAM atau yang lain, tapi ketiga teknik tersebut sering digunakan pada OFDM. Kemudian sinyal yang telah termodulasi tersebut diaplikasikan ke dalam *Inverse Discrete Fourier Transform* (IDFT), untuk pembuatan simbol OFDM. Penggunaan IDFT ini memungkinkan pengalokasian frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Setelah itu simbol OFDM dikonversikan lagi ke dalam bentuk serial, dan kemudian sinyal dikirim. Sinyal *carrier* dari OFDM merupakan penjumlahan dari banyaknya *sub-carriers* yang *orthogonal*, dengan data *baseband* pada masing-masing *sub-carriers* dimodulasikan secara bebas menggunakan teknik modulasi QAM atau PSK.

Pada stasiun penerima, dilakukan operasi yang berkebalikan dengan apa yang dilakukan di stasiun pengirim. Mulai dari konversi dari serial ke *parallel*, kemudian konversi sinyal *parallel* dengan *Fast Fourier Transform* (FFT), setelah itu demodulasi, konversi *parallel* ke serial, dan akhirnya kembali menjadi bentuk data informasi. Pada OFDM, frekuensi-frekuensi *multicarrier* tersebut saling tegak

lurus, yang berarti bahwa *crosstalk* di antara *sub-channels* dihilangkan dan *inter-carrier guard bands* tidak diperlukan [16].

2.2.15 *Multipath Fading*

Propagasi adalah perambatan sinyal antara pemancar dan penerima melalui berbagai lintasan yang berbeda. Lintasan yang berbeda-beda tersebut mengakibatkan kuat sinyal penerimaan menjadi bervariasi. Sedangkan pengertian dari *multipath fading* yaitu *fading* yang terjadi akibat propagasi *multipath*. Sinyal yang diterima oleh penerima merupakan jumlah superposisi dari keseluruhan sinyal (sinyal LOS dan sinyal hasil pemantulan) yang dipantulkan akibat banyak lintasan (*multipath*) [17].



Gambar 2. 7 *Multipath Fading* [17].

Pada Gambar 2.7 terdapat gambar *multipath fading* dimana *fading* merupakan gejala yang dirasakan oleh penerima akibat adanya fluktuasi level daya sinyal yang diterima oleh *receiver*. Dilihat dari penyebab fading ini dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu:

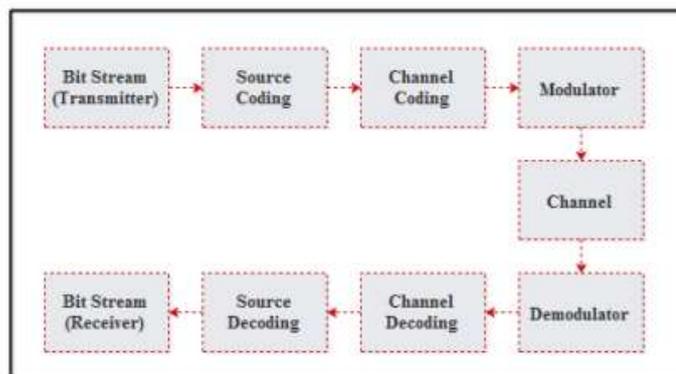
1. *Multipath*, terjadi karena terdapat objek antara pengirim dan penerima sehingga gelombang yang sampai kepada penerima berasal dari beberapa lintasan (*multipath*). Akibat adanya fenomena ini adanya efek yaitu :
 - a. *Fading* yaitu *fluktuasi* sinyal di penerima.
 - b. *Delay spread*, yaitu distribusi *time delay* dari masing-masing *path* yang dapat menyebabkan ISI (*Inter Symbol Interference*). Analisa efek *fading* akibat *multipath* (*fast fading*).
2. *Shadowing*, terjadi karena adanya efek terhalangnya sinyal sampai ke penerima akibat oleh gedung bertingkat, tembok, dll. *Fluktuasi* sinyal akibat *shadowing* ini

adalah bersifat lambat (*slow fading*). Pendekatan yang dapat dilakukan untuk menganalisis efek *shadowing* ini adalah dengan menggunakan distribusi log normal.

2.2.16 Channel Coding

Blok sistem implementasi *channel coding* untuk mentransmisikan sinyal dari pengirim ke penerima. *Channel coding* digunakan untuk menjaga informasi atau data digital 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* yaitu proses pelacakan kesalahan selama transmisi data berlangsung. contoh : *Stop and Wait, Go Back-N, Selective Repeat*.

1. *Stop and Wait*: salah satu metode *error correction* dimana blok data akan dikirim setelah ACK dari *receiver* diterima oleh *transmitter* terlebih dahulu.
2. *Go Back-N*: salah satu metode *error correction* dimana apabila terdapat satu blok data yang rusak maka blok data tersebut dan blok selanjutnya akan dikirim ulang.
3. *Selective Repeat*: salah satu metode *error correction* dimana apabila terdapat satu blok data yang rusak maka hanya blok data tersebut yang akan dikirim ulang.



Gambar 2. 8 Diagram Blok Sistem Transmisi dengan *Channel coding*

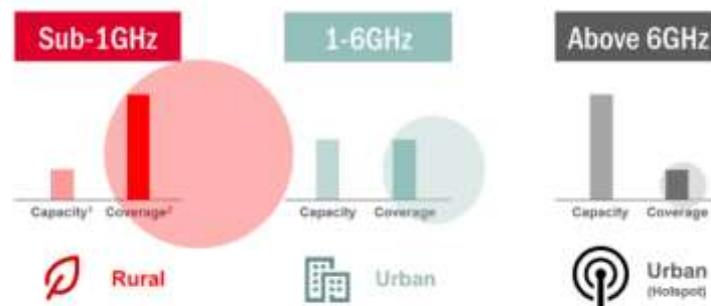
Pada Gambar 2.8 bagian transmitter terdapat sumber informasi yang akan masuk langsung *source coding*, *source coding* merupakan pangkat yang

menjalankan dengan cara mengurangi redundansi didalam bit informasi, setelah dari *source coding* akan masuk ke *channel coding*. *Channel coding* merupakan kanal yang belum mengalami proses pentransmisian. Proses tersebut dilanjutkan dengan modulator, pada saat informasi melalui media transmisi atau kanal terjadi penambahan *noise*, *noise* yang timbul sesuai dengan kondisi lingkungan yang dilewati.

Pada bagian *receiver* melalui proses demodulasi akan masuk ke *channel decoding*, *channel decoding* merupakan hasil dari kanal yang sudah ditransmisikan. Selanjutnya masuk ke *source decoding* untuk memperoleh kembali informasi yang dikirimkan.

2.2.17 Klasifikasi Spektrum 5G

Teknologi 5G tampil dengan berbagai skenario penggunaan yang dapat mempermudah kehidupan manusia sehari-hari seperti yang telah diilustrasikan pada Gambar 2.9. Hal tersebut mengakibatkan meningkatnya kebutuhan terhadap layanan 5G. Dengan meningkatnya kebutuhan tersebut, juga terjadi peningkatan terhadap spektrum untuk layanan penyelenggaraan sistem telekomunikasi bergerak seluler dimasa yang akan datang



Gambar 2. 9 Klasifikasi Kapasitas dan Cakupan Spektrum Frekuensi 5G[18]

Teknologi 5G *New Radio* (NR) terbagi menjadi tiga klasifikasi spektrum frekuensi yaitu [18]:

1. *Low Bands*, dengan frekuensi di bawah 1 GHz (Rural Makro). Spektrum ini digunakan untuk mendukung penanganan *coverage* terutama dalam implementasi layanan IoT (*Internet of Things*) karena memiliki jangkauan layanan yang luas mulai dari urban hingga suburban dan area rural. Hal ini dikarenakan sifat propagasi sinyal pada frekuensi tersebut memungkinkan 5G

memiliki cakupan yang luas sehingga dapat melakukan penetrasi sinyal sampai ke dalam bangunan.

2. *Mid Bands*, dengan rentang frekuensi 1 hingga 6 GHz (Urban Makro). Spektrum ini memiliki kapasitas dan *coverage* yang ideal untuk mendukung layanan *enhanced Mobile Broadband* (eMBB) dan *mission-critical*.
3. *High Bands*, dengan frekuensi diatas 6 GHz (Urban Mikro). Spektrum frekuensi ini memiliki rentang frekuensi antara 26-28 GHz digunakan untuk memberikan layanan *throughput* yang sangat besar. Spektrum ini juga paling banyak diimplementasikan oleh dunia internasional karena kapasitasnya yang sangat besar.