

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Dalam kajian model kanal 5G dengan pengaruh *human blockage*. Penulis akan menggunakan beberapa jurnal sebagai bahan kajian literatur ini. Pustaka yang relevan digunakan untuk menjadi acuan bagi penulis dalam menyusun dan melakukan penelitian.

Pada penelitian Ramzi Aliy Afif, Anggun Fitriani Isnawati, dan Ahmad Rizal Danisya pada tahun 2020 dengan judul “ Analisis Perbandingan Model Saluran mmWave dengan 26 GHz dan 28 GHz : Studi Kasus di Kota Wonosobo “ pada uji perbandingan antara Frekuensi 26 GHz dan 28 GHz mmWave untuk memenuhi kinerja yang diinginkan dengan *bandwidth* 10-20 Gbps. Sistem komunikasi frekuensi tinggi memiliki tantangan yang signifikan dari kontur bumi, karakteristik redaman, dan kerentanan vegetasi alami. *Bandwidth* yang digunakan 200 MHz, sistem QPSK-OFDM, model kanal mmWave direpresentasikan dengan *Power Delay Profile* (PDP) dari respon kanal redaman hujan minimum dan redaman hujan maksimum parameter lingkungan Wonosobo[6].

Pada penelitian Shihao Ju, Ojas Kanhere, Yunchou Xing dan Theodore S. Rappaport pada tahun 2019 dengan judul “ *A Millimeter-Wave Channel Simulator Nyusim With Spatial Consistency And Human Blockage* ” penelitian tersebut menggunakan NYUSIM versi 2.0 yang memiliki fitur-fitur terbaru yaitu *spatial consistency*, *Human Blockage*, dan *outdoor-to-indoor penetration loss*. Dengan menggunakan frekuensi 73 GHz, *bandwidth* 800 MHz, UMi NLOS, T-R *separation distance* 100m – 500m, 1000 UT *location*. Perbandingan antara simulasi dari NYUSIM dan pengukuran langsung di lapangan menghasilkan hasil yang akurat[7].

Pada penelitian ini membahas teori *outage performance* yang diperoleh dari model kanal 5G indonesia, kemudian memvalidasi teori *outage performance* tersebut menggunakan *block error rate* (bler) pada *cyclic-prefix orthogonal frequency division multiplexing (cp-ofdm) numerology zero* dengan *complex binary phase shift keying (c-bpsk)* standar 5G dan pengkodean polar. Semua hasil numerik dari simulasi komputer menggunakan parameter riil lapangan untuk alam

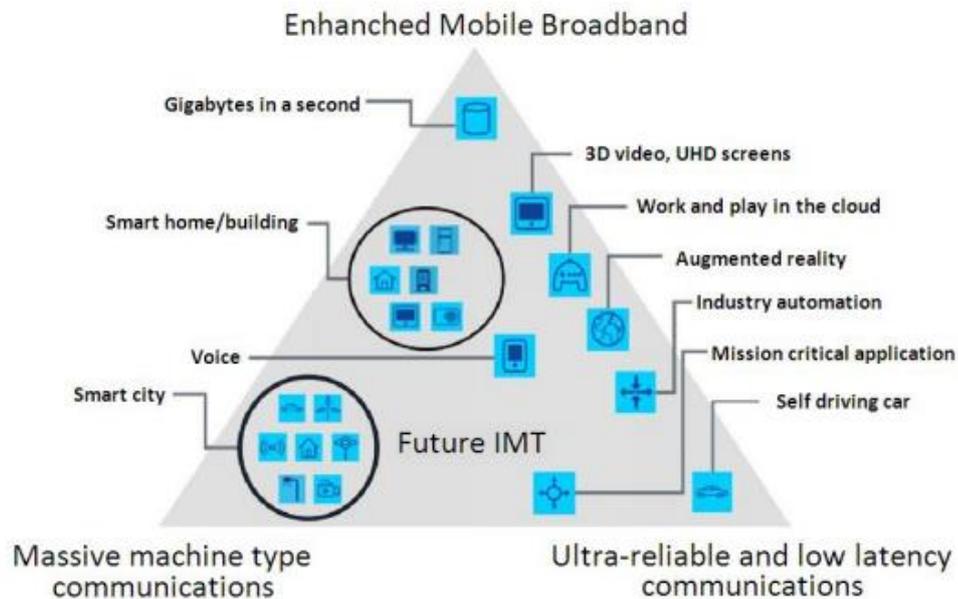
Indonesia. Penelitian ini menemukan bahwa kanal 5G Indonesia dapat dimodelkan *power delay profile* (PDP) dengan 17 *path* untuk kanal tanpa efek daun dan kurang dari 15 *path* untuk kanal dengan bantuan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa redaman daun menyebabkan penurunan kinerja, yang melaporkannya dengan penurunan jumlah *path* dan memburuknya kinerja pemadaman.

Pada penelitian Irfan Alwandi Pohan, Yusnita Rahayu, pada tahun 2020 dengan judul “Pemodelan Kanal 38 GHz Untuk Komunikasi 5G Menggunakan Nyusim” Teknologi telekomunikasi 5G dapat diterapkan secara optimal di Indonesia pada 2020 jika parameternya dirancang mengikuti kanal 5G Indonesia. Pemodelan Saluran 38 GHz untuk Komunikasi 5G menggunakan NYUSIM (*New York University Simulator*) menggunakan SSCM (*Software Statistical Pemodelan Saluran*). Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Kota Pekanbaru untuk urban *microcell* (UMi) skenario, nilai yang dihasilkan berupa nilai *Path loss* (125,5 dB), *Power Receive* (-95,5 dBm), AOA (*Angle of Arrival*) sudut datang (dari penerima ke pemancar) menampilkan sudut yang diterima adalah ± 180 derajat, sedangkan AOD (*Angle of Departure*) sudut keberangkatan (dari pemancar ke penerima) menunjukkan sudut keberangkatan adalah ± 270 derajat, dan nilai *Omnidirectional Power Delay Profile* (PDP) adalah 750 ns dengan standar deviasi 12,3 ns. Hasil yang ditampilkan adalah sumber referensi dan membuat prediksi masa depan bagi peneliti untuk installer, perencana dan komunikasi komersial dengan 5G[8].

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 5G New Radio

International Telecommunication Union (ITU), sebagai organisasi internasional yang didirikan untuk menstandarisasi dan mengatur radio dan telekomunikasi internasional, telah menerbitkan rekomendasi ITU-R M.2083-0 tentang visinya untuk tahun 2020 dan seterusnya, termasuk dalam *International Mobile Telecommunications 2020*. *International Mobile Telecommunication 2020* akan memperluas dan mendukung berbagai *scenario* penggunaan IMT saat ini. Selain itu, berbagai fitur akan mudah digabungkan dengan *scenario* penggunaan dan aplikasi yang berbeda. *Scenario* penggunaan IMT untuk tahun 2020 ini meliputi[9]



Gambar 2.1 *scenario Enhanced Mobile broadband*

Berdasarkan Gambar 2.1 ada tiga *scenario* dan layanan yang digunakan dalam teknologi 5G dimana telah ditentukan oleh ITU-R meliputi :

1. *Enhanced Mobile Broadband*

Meningkatnya permintaan akan *mobile broadband* akan terus berkembang, sehingga visi ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan *mobile broadband* dalam menangani kasus pengguna yang berpusat pada manusia untuk mengakses ke konten media, layanan dan data. Skema pengguna *broadband mobile* yang disempurnakan akan hadir dengan aplikasi area yang baru dan persyaratan tambahan pada aplikasi *mobile broadband* yang sudah ada untuk meningkatkan kinerja dan meningkatkan pengalaman pengguna untuk menjadikan lebih baik. Kasus penggunaan ini mencakup area yang luas dan *hotspot* dengan berbagai persyaratan. Kasus *hotspot* ini, ialah untuk area dengan kepadatan pengguna yang tinggi, sehingga diperlukan kapasitas lalu lintas yang sangat tinggi.

2. *Ultra-reliable and low latency communications*

Untuk mencapai kemampuan komunikasi yang sangat handal dan latensi (rugi-rugi jitter) yang rendah, pada visi ini diperlukan persyaratan ketat seperti adanya throughput yang baik, latensi rendah dan ketersediaan yang tinggi. Beberapa contoh di sini seperti kontrol nirkabel terhadap proses produksi atau

industri, operasi medis jarak jauh, otomasi distribusi pada suatu smart grid, keamanan transportasi, dan lain-lain.

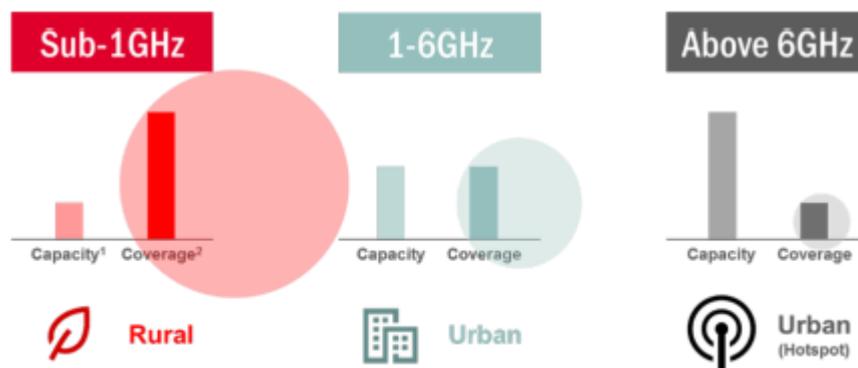
3. *Massive machine type communications*

Kemampuan komunikasi ini ditandai oleh terhubungnya sejumlah besar perangkat dengan pengiriman data sensitif tanpa *delay* pada volume relatif rendah. Untuk mencapai visi ini, perangkat terminal harus diproduksi dengan biaya rendah dan harus memiliki masa pakai baterai yang sangat lama[10].

untuk mendukung bab berikutnya yang mencakup kapasitas saluran untuk *broadband*, matriks yang mendasari dan cara kerjanya serta kinerja waktu dan *outage performance* dari sebuah kanal yang diturunkan dari teorema kapasitas *Shannon*.

2.2.2 Kategori spektrum 5G

Pada Teknologi 5G mendatang dengan banyak *scenario* baru untuk bisa akan mempermudah dalam kebutuhan kehidupan manusia yang memang seperti ini dapat ditunjukkan pada segitiga *usage scenario*. Dengan kebutuhan itu yang mengarah pada peningkatan kebutuhan spektrum untuk layanan penyelenggaraan sistem telekomunikasi seluler di masa depan[9].



Gambar 2.2 Gambar kategori spektrum 5G

Dalam Gambar 2.2 pada teknologi 5G *New Radio* terbagi menjadi tiga kategori spektrum frekuensi :

- 1) Dalam rentang frekuensi sub-2 GHz (*Rural*), bisa digunakan untuk membantu dalam implementasi layanan IoT (*internet of things*) dan memiliki cakupan yang cukup meluas yaitu mulai dari urban, sampai suburban, dan area rural.

Karena sifatnya yang penyebaran dari sinyal frekuensi tersebut yang membentuk 5G mempunyai radius lebih luas dan penetrasi sinyal terhadap bangunan yang dalam.

- 2) Dalam rentang frekuensi 1-6 GHz (*Urban*), radius frekuensi ini bisa diimplementasikan dengan penggabungan dari radius dan kapasitas untuk layanan teknologi 5G serta bisa di fungsikan sebagai inisiasi teknologi 5G.
- 3) Dalam rentang frekuensi 6 GHz (*Urban Hotspot*), radius frekuensi ini bisa memberikan kapasitas besar yang dikarenakan mempunyai *bandwidth* yang sangat luas dan bisa dialokasikan sebagai komunikasi bergerak dan *scenario* aplikasi eMBB.

2.2.3 Kanal *Broadband*

Kanal *broadband* dikenal dengan kanal yang memiliki *bandwidth* dengan transmisi yang lebih besar dari *bandwidth* koheren dalam kanalnya. Kanal *broadband* dibutuhkan oleh aplikasi-aplikasi dengan kecepatan transfer data yang tinggi, karena kanal *broadband* memiliki kapasitas yang sangat besar. *Bandwidth* yang lebar menyebabkan kanal *broadband* rentan terhadap efek kanal *multipath* fading, dimana 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 atau *equalizer* diperlukan untuk memproses sinyal yang diterima pada sisi receiver setelah melalui kanal *broadband* sehingga *diversity* dapat tercapai[11].

Sistem *broadband*, seperti 3G, 4G, dan 5G, memiliki kanal yang sangat lebar sehingga kapasitasnya lebih besar daripada kanal *narrowband* yang dihitung dengan

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

Keterangan :

N = Panjang blok transmisi

$\Psi_n = \text{Multipath}$

kanal *broadband* memiliki lebih dari satu *path* yang diindikasikan dengan ψ_n untuk $n = \{1, 2, 3, \dots, N\}$ dengan N adalah panjang blok transmisi yang dalam skripsi ini diambil $N = 64$. Nilai untuk setiap kanal parallel ekuivalen dinyatakan dengan

$$\psi = \text{diag} (\mathbf{FHcF}^H) \quad (2.2)$$

Keterangan :

F = Matriks *Fast Fourier Transform* (FFT)

H_c = Matriks circulant hasil penambahan *Cyclic Prefix* (CP)

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

dengan **H_C** adalah matriks circulant hasil dari penambahan *Cyclic Prefix* (CP). F adalah matriks *Discrete Fourier Transform* (DFT) dan F^h adalah matriks *Inverse Discrete Fourier Transform* (IDFT).

Hubungan SNR dan Eb/N0 ditulis dengan

$$\text{SNR} = \frac{E_b}{N_0} m \cdot R \quad (2.3)$$

dengan m adalah indeks modulasi yang memuat jumlah bit per simbol, misalnya m = 1 pada *binary phase shift keying* (BPSK) dan m = 2 pada *4-quadrature amplitude modulation* (QAM). Perhitungan kapasitas BPSK dengan m = 1.

Notasi Q (Panjang CP) bisa dihitung sebagai berikut [4];

$$Q = \frac{T_{cp(i)}}{T_{ofdm(i)}} \cdot N_{FFT} \quad (2.4)$$

Keterangan :

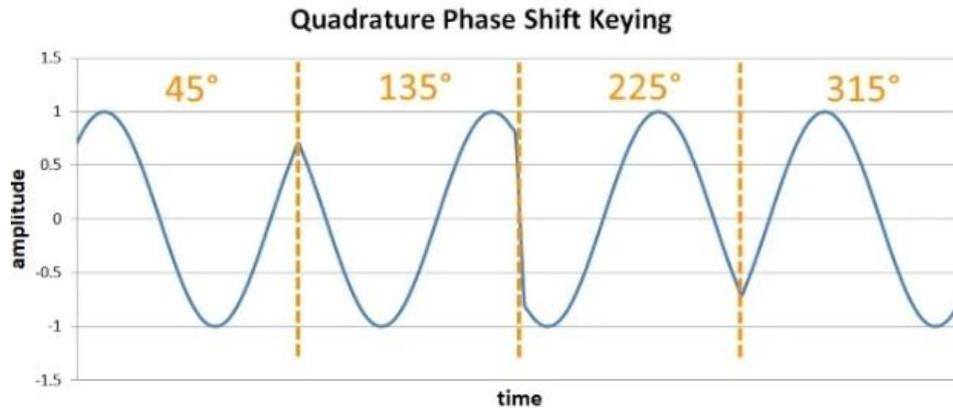
T_{cp(i)} = *Cyclic Prefix Duration*

T_{ofdm(i)} = *OFDM symbol Duration*

2.2.4 Modulasi

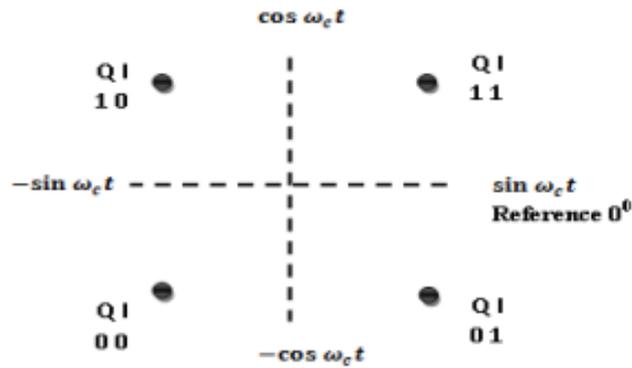
Modulasi merupakan proses perubahan atau penumpangan sinyal informasi terhadap sinyal *carrier*. Sinyal informasi akan ditumpangkan pada gelombang radio untuk bertindak sebagai sinyal pembawa. Tujuan modulasi untuk menaikkan spektrum sinyal, tahan terhadap *noise* karena dapat menekan *derau*/interferensi. Proses modulasi ini membutuhkan dua buah sinyal pemodulasi yang berupa sinyal informasi dan sinyal pembawa (*carrier*). Modulasi digital merupakan suatu proses dimana symbol digital diubah menjadi suatu bentuk gelombang yang sesuai dengan karakteristik kanal yang akan dilewati. Pada penelitian ini menggunakan modulasi QPSK dan modulasi BPSK[12]

2.2.5 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)



Gambar 2.3 Contoh Gambar bentuk QPSK

Berdasarkan pada Gambar 2.3 QPSK atau *quadrature*-PSK adalah bentuk lain dari modulasi digital selubung konstan termodulasi sudut. QPSK adalah teknik pengkodean *M-ary*. Pengembangan dari modulasi PSK. Keunggulan QPSK adalah mempunyai *bandwidth* dua kali lebih efisien dari BPSK, satu fase dapat mengkodekan dua bit, dan BER lebih rendah dari ASK dan FSK, sedangkan kekurangannya adalah QPSK memiliki fase yang lebih sensitive daripada BPSK[13]. Sesuai dengan namanya, QPSK memiliki empat buah bentuk sinyal termodulasi. Sinyal termodulasi 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 termodulasi QPSK masing-masing memiliki beda fasa 90° satu sama lain. Bentuk persamaan dari sinyal QPSK adalah seperti berikut ini[14]:



Gambar 2.4 Konstelasi QPSK[15]

$$\begin{aligned}
 S_{00} &= A\sqrt{2} \sin 2\pi f_c t - 135^\circ \\
 S_{01} &= A\sqrt{2} \sin 2\pi f_c t - 45^\circ \\
 S_{10} &= A\sqrt{2} \sin 2\pi f_c t + 135^\circ \\
 S_{11} &= A\sqrt{2} \sin 2\pi f_c t + 45^\circ
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

Keterangan :

- | | |
|--------------------------|------------------------|
| 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 | |

Quadrature phase shift keying (QPSK) adalah suatu teknik modulasi yang memetakan 2 bit informasi yaitu $b(i)$ dan $b(i+1)$ menjadi 1 simbol kompleks. 2 bit informasi tersebut dipetakan ke dalam *symbol* kompleks x sebagai berikut:

$$d(i) = \frac{1}{\sqrt{2}} [(1 - 2b(i) + j(1 - 2b(i + 1)))]
 \tag{2.6}$$

Keterangan :

$b(i)$ = Biner pertama yang dipetakan oleh symbol angka modulasi kompleks

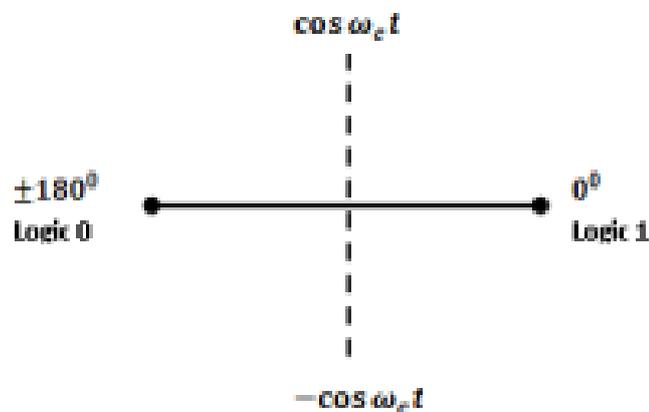
j = *imaginer*

kelebihan QPSK adalah memiliki *bandwidth* dua kali lebih efisien dibandingkan dengan BPSK, satu fase dapat mengodekan dua bit, dan BER lebih

rendah daripada ASK dan FSK, sedangkan kekurangannya adalah QPSK memiliki fase yang lebih sensitive daripada BPSK[12].

2.2.6 Binary Phase Shift Keying (BPSK)

Binary Phase Shift Keying (BPSK) adalah bentuk paling sederhana dari PSK yang menggunakan dua fasa yang terpisah sejauh 180. Pada modulasi BPSK, sinyal direpresentasikan dalam dua kemungkinan. Sinyal 1 direpresentasikan dengan memberikan pergeseran fasa sinyal *carrier* sebesar 0. Sedangkan sinyal 0 direpresentasikan dengan menggeser fasa sinyal *carrier* 180[15]. Diagram konstelasi modulasi BPSK diilustrasikan pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Konstelasi BPSK

Kekurangan dari modulasi BPSK adalah hanya mampu memodulasi 1 bit per *symbol*. Sehingga jika dibandingkan mapper yang lain seperti QPSK dan QAM, laju data BPSK lebih rendah namun memiliki potensi nilai BER yang lebih kecil.

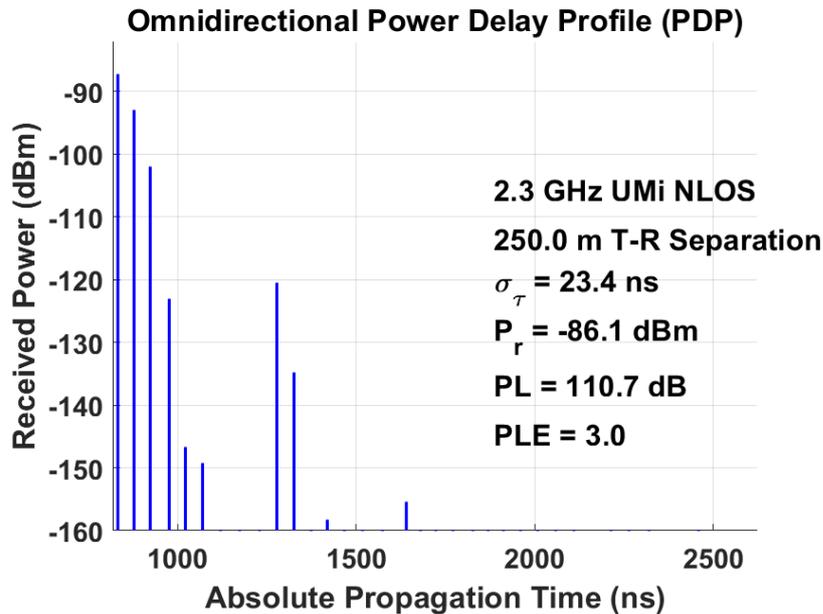
Karakteristik dari BPSK adalah sinyal biner 1 dan 0 yang direpresentasikan dengan symbol $S_1(t)$ dan $S_2(t)$, fase kedua sinyal dipisahkan 180, lebih sederhana untuk diimplementasikan namun tidak efisien dalam penggunaan *bandwidth*[12].

$$\begin{aligned}
 S_1(t) &= \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) \\
 S_2(t) &= \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t + \pi)
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

2.2.6.1 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.

Berdasarkan gambar 2.4 adalah contoh dari *power delay profile*. Dalam proses plot PDP, sumbu X mewakili *delay* propagasi masing-masing *Path* dan sumbu Y mewakili daya sinyal dari setiap *path*. Gambar 2.4 menunjukkan contoh *power delay profile*, 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 (RMS) delay spread*[16].



Gambar 2.6 Contoh *Power Delay Profile*

2.2.6.2 Mean Excess Delay

Mean Excess Delay merupakan momen pertama dari *power delay profile* (PDP), yang kekuatan sinyal rata-rata yang di normalisasi. *Mean excess delay* bisa di hitungan dengan menggunakan rumus berikut[17] :

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{k=0}^k P(\tau_k) \cdot \tau_k}{\sum_{k=0}^k P(\tau_k)} \quad (2.8)$$

Keterangan:

$\bar{\tau}$ = *Mean Excess delay* (Momen pertama dari *Power Delay Profile*)

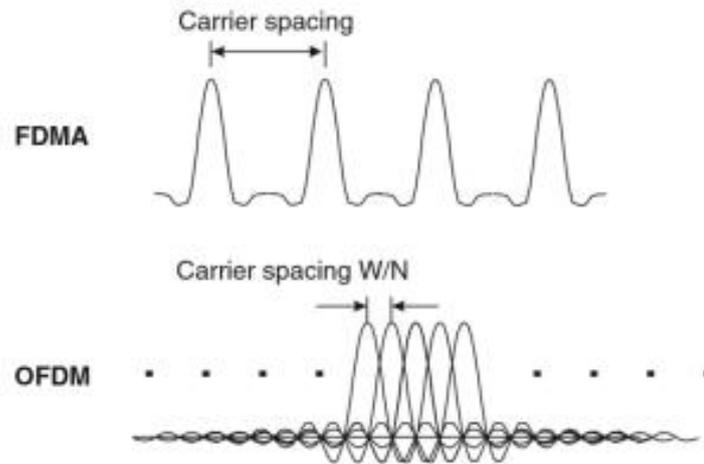
K = Jumlah dari *Power Delay Profile*

$\bar{\tau}_k$ = *Power* dari setiap *Power Delay Profile* (watt)

τ_k = Waktu (detik)

2.2.6.3 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

OFDM merupakan perbaikan dari *sistem frequency division multiple access* (FDMA) yang kurang efisien karena banyak menghabiskan *bandwidth*. Gambar 2.7 menunjukkan perbedaan konsep FDMA dengan OFDM dari domain frekuensi. OFDM membagi aliran *data rate* tinggi menjadi aliran *data rate* rendah, yang kemudian ditransmisikan secara bersamaan pada beberapa *subcarrier*[18]. *Subcarrier* dihasilkan menggunakan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) di pemancar dan penerima *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk mendapatkan data kembali, bahkan bila *spectral subcarrier* saling tumpang tindih (*overlapping*), informasi secara sempurna dapat diterima tanpa *interferensi* antar *subcarrier* dan dapat menghemat *bandwidth* kanal sampai dengan 50%. Kemampuan OFDM untuk mengatasi *delay spread*, *multipath Inter-Symbol interference* (ISI), dan *Inter-Carrier Interference* (ICI) merupakan cara yang efektif untuk memperoleh *throughput* yang tinggi dalam komunikasi serat *optic*. Sinyal informasi yang dikirim dengan menggunakan *multicarrier* pada OFDM juga membuat sistem performansi lebih tahan terhadap *noise* dan interferensi[19].



Gambar 2.7 Perbedaan FDMA dan OFDM

Berdasarkan Gambar 2.7 dapat dilihat perbedaan FDMA dan OFDM. Pada FDMA memiliki *guard-band* antar frekuensi *subcarrier*, sedangkan OFDM mempunyai *subcarrier* yang berdekatan dimana masing-masing *subcarrier* berada pada posisi null terhadap *subcarrier* yang lainnya. Oleh karena itu, selama penerima melakukan demodulasi yang sesuai, aliran data antar 2 *subcarrier* tidak akan terganggu. Dalam implementasinya, OFDM menggunakan IFFT pada pengirim dan FFT pada penerima untuk mendapatkan ortogonalitas antar *subcarrier*[16]

2.2.6.4 Numerology OFDM

Pada sistem OFDM perbedaan yang paling terlihat pada teknologi 4G LTE dan 5G NR yaitu penggunaan *Numerology*. 5G NR mendukung penggunaan beberapa jenis jarak *subcarrier*, sedangkan 4G LTE hanya menggunakan 1 jenis *subcarrier spacing*, yaitu 15 kHz. Sistem OFDM tunggal pada teknologi 4G LTE saat ini belum mampu memenuhi seluruh permintaan pada rentang frekuensi dan aplikasi-aplikasi yang didukung oleh 5G NR. Oleh sebab itu, teknologi akses radio pada 5G NR menggunakan *orthogonal frequency division multiplexing numerology* (*Numerology* OFDM) sebagai jawaban atas permasalahan tersebut. Setiap numerology tidak dapat digunakan secara merata untuk seluruh kanal fisik beserta sinyalnya. Hal ini menandakan bahwa terdapat *numerology* yang lebih spesifik yang hanya dapat diterapkan untuk jenis kanal fisik tertentu, walaupun mayoritas dari *numerology* OFDM dapat digunakan untuk jenis kanal fisik apapun[16].

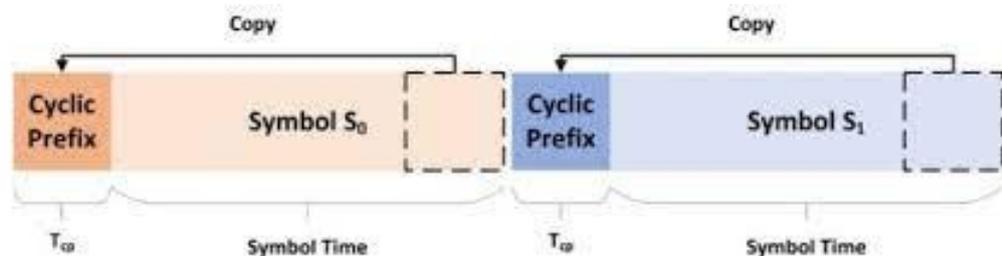
Pada *tabel 2.1* dapat menunjukkan diterapkannya teknologi radio akses 5G NR mempunyai opsi kategori frekuensi di bawah 6 GHz dan diatas 6 GHz maka dibutuhkan support layanan yang beda. OFDM tunggal tidak bisa memenuhi kebutuhan dari performansi semua rentang frekuensi yang diimplementasikan sehingga diperlukannya OFDM *numerology* untuk 5G *radio access technology* (RAT)[20].

Tabel 2.1 Numerology OFDM pada 5G

Parameter/ <i>numerology</i> (μ)	0	1	2	3	4
<i>Subcarrier spacing</i> (KHz)	15	30	60	120	240
OFDM <i>Symbol Duration</i> (μ s)	66.67	33.68	16.67	8.33	4.17
<i>Cyclic Prefix Duration</i> (μ s)	4.69	2.34	1.17	0.57	0.29
OFDM <i>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 maksimum</i> (MHz)	49.5	99	198	396	397.44

2.2.6.5 Cyclic Prefix (CP)

Cyclic Prefix atau CP salah satu kelebihanannya OFDM ialah tahan terhadap ISI dan ICI karena *multipath delay spread* untuk meningkatkan kualitas layanan (QOS). Cara yang digunakan pada OFDM/OFDMA selain mengirimkan data secara paralel ialah dengan menyisipkan suatu data khusus yang digunakan seperti *guard* (GP), teknik ini disebut *cyclic prefix*. Pada *guard period transmitter* tidak mengirimkan data apapun tetapi *Cyclic Prefix* menggunakan Teknik duplikasi dibagian akhir pada *symbol* untuk diletakkan pada bagian awal *symbol* tersebut. Teknik ini dapat mempermudah *processing* sinyal pada saat kondisi *multipath* dimana beberapa sinyal datang pada penerima antenna dengan *amplitude* dan fase yang berbeda-beda[21].



Gambar 2.8 Cyclic prefix (CP) pada OFDM

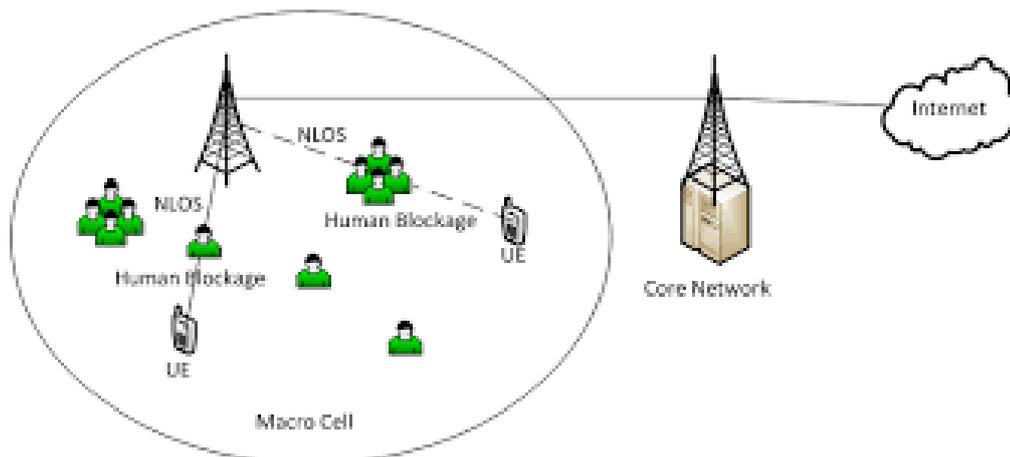
Berdasarkan pada Gambar 2.8 menunjukkan *Cyclic Prefix* atau CP berfungsi untuk guard interval yang memastikan *symbol*-simbol pada OFDM

terkirim lengkap ke dalam *interval Fast Fourier Transform* (FFT) dengan waktu tunda yang sama. *Cyclic Prefix* juga bisa dapat disalin sebagai *symbol prefix* akhir *symbol* OFDM, sesuai pada gambar merupakan ilustrasi *Cyclic Prefix* dimana mempunyai 3 fungsi yaitu[16]:

1. Penyedia *guard interval* untuk menghapus *intersymbol interference* (ISI) dari *symbol* seluruhnya.
2. Salinan pada *symbol* di bagian akhir. *Cyclic Prefix* atau CP diperoleh dari menyalin bagian akhir dari setiap *symbol* dan akan diletakkan pada bagian awal *symbol* dan pada saat sampai di *receiver* CP tersebut akan dibuang / dihilangkan karena tidak termasuk dalam informasi.
3. Untuk menjamin performansi bebas *intersymbol interference* (ISI), Panjang *Cyclic Prefix* yaitu sama atau lebar dari jumlah PDP.

Dalam sistem OFDM, *Cyclic Prefix* (CP) memiliki peranan penting dalam mempertahankan orthogonalitas *subcarrier* OFDM pada kondisi kanal yang *selective-frequency fading*. CP adalah deretan bit yang merupakan hasil salinan sebagian bit-bit suatu simbol OFDM yang kemudian ditempatkan di awal simbol. Besar *Cyclic Prefix* yang umum digunakan adalah $1/32$, $1/16$, $1/8$, atau $1/4$ dari panjang simbol OFDM[22].

2.2.6.6 Pengaruh *Human Blockage*



Gambar 2.9 Sistem Model *Human Blockage*

Berdasarkan pada Gambar 2.9 sistem model pada *Human Blockage* atau penyumbatan manusia disebabkan oleh hambatan adanya manusia yang berada di sekitar telepon seluler atau juga adanya hambatan yang disebabkan oleh beberapa

gedung dan bangunan di sekitar itu yang berdampak terjadinya *Shadowing loss* dalam beberapa ratus *millisecond*. Rata – rata model penyumbatan manusia secara fisik dapat diartikulasikan dan dievaluasi karena hilangnya penyumbatan manusia dengan adanya pertimbangan bentuk tubuh, dimensi dan material. Model ini dapat memberikan akurasi yang wajar dengan biaya peningkatan kompleksitas dalam hal deskripsi geometris tubuh manusia dan perhitungannya. Tetapi, model ini tidaklah sepenuhnya dapat divalidasi untuk frekuensi, ukuran tubuh, orientasi dan ketergantungan tinggi antenna dari penyumbatan manusia melalui pengukuran[7].

2.2.7 Fast fourier transform (FFT)

Fast fourier Transform atau FFT ialah proses pemisahan antara frekuensi carrier dengan symbol OFDM yang diterima pada sisi *receiver* sebelum didemodulasi dan diubah Kembali ke dalam bentuk bit informasi. FFT juga digunakan untuk implementasi *discrete fourier transform* agar lebih cepat dan efisien. ukuran FFT mengacu pada jumlah *subcarrier* dari *symbol* OFDM yang diharapkan dapat sesuai ukuran 2^n , dimana N ialah jumlah sampel yang diubah dari domain waktu ke domain frekuensi. Ukuran FFT juga ditentukan dengan memperhatikan keseimbangan antara perlindungan terhadap efek *multipath*, pergeseran *droppler*, dan kompleksitas sistem. Ukuran FFT yang besar dalam sistem 5G NR mampu mengurangi *subcarrier spacing* dan menambah durasi simbol. hal ini aka mempermudah dalam perlindungan *symbol* OFDM dari interferensi akibat *multipath*. Di sisi lain, berkurangnya *subcarrier spacing* akan membuat sistem lebih rentan terhadap ICI akibat efek *doppler spread* dalam sistem komunikasi *wireless*[23].

2.2.8 Inverse fast fourier transform (IFFT)

Inverse fast fourier transform (IFFT) adalah *invers* atau kebalikan dari *fast fourier transform* (FFT) yang merupakan algoritma yang dilakukan untuk mengkonversi deret dalam domain frekuensi ke domain waktu. Secara umum, persamaan matematis untuk FFT yang digunakan pada bagian penerima dapat ditulis sebagai berikut :

$$S_{OFDM}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{\left(\frac{-j2\pi}{N}\right)nk} \quad , k = 0, 1, \dots, N - 1 \quad (2.9)$$

kemudian dibagian pengirim persamaan inverse FFT adalah sebagai berikut.

$$S_{OFDM}(k) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{(-j2\pi/nk)} \quad , n = 0, 1, \dots, N - 1 \quad (2.10)$$

dimana $x(n)$ merupakan deretan data masukan ke- n dan $S(k)$ adalah deretan data keluaran ke- k dan untuk faktor eksponensial maka

$$W_N^{nk} = e^{j(\frac{2\pi}{N})nk} \quad (2.11)$$

2.2.9 Bit Error Rate (BER)

Rasio *error* adalah rasio jumlah bit, elemen, karakter, atau blok yang diterima dengan salah dibanding jumlah total bit, elemen, karakter, ataupun blok yang dikirim sepanjang interval waktu tertentu. Rasio yang paling sering ditemui adalah *bit error ratio* (BER). Contoh BER adalah jumlah kesalahan bit yang diterima dibagi dengan jumlah total bit yang dikirimkan. Pada umumnya jumlah bit *error* atau yang telah mengalami gangguan pada saat melalui media transmisi dapat disebabkan oleh gangguan derau atau *noise*, *interferensi*, *distorsi*, atau kesalahan sinkronisasi bit[12]. Biasanya kurva BER digambarkan dalam hubungan BER (dB) dengan SNR (dB) atau BER (dB) dengan E_b/N_0 (dB)[24]. BER dituliskan dengan rumus berikut :

$$BER = \frac{\text{number of error bits}}{\text{number of bits}} \quad (2.12)$$

2.2.10 Signal to noise ratio (SNR)

Signal to noise ratio (SNR) diartikan sebagai rasio antara daya sinyal yang diinginkan dengan daya *derau* (*noise*), dan secara luas digunakan sebagai standar ukuran kualitas sinyal untuk sistem komunikasi. Suatu sinyal informasi sebagai media komunikasi akan mengalami banyak gangguan oleh *derau* (*noise*), sehingga dapat merusak sinyal informasi itu. Sinyal yang mengalami gangguan ini mengalami penurunan dalam kualitasnya. Kualitas sinyal ini dapat ditentukan nilai dari nilai *Signal to noise ratio* (SNR) yang diukur dalam satuan *decibel* (dB). Estimasi SNR dapat dilakukan dengan berdasarkan statistic sinyal dengan menentukan koefisien dari spektrum sinyal dan energi sinyal[25].

Signal to noise ratio (SNR) adalah besaran nilai antara besar daya sinyal yang dikirimkan dengan daya yang dikirimkan dengan daya yang tidak diinginkan (*noise*). SNR bertujuan untuk mengetahui kualitas sinyal informasi yang diterima di *photodetector*. Semakin besar nilai SNR maka dapat dipastikan kualitas sinyal yang diterima semakin baik. Persamaan berikut ini merupakan SNR, *bandwidth* dan kapasitas dari transmisi yang dihubungkan dengan teori *Shannon-Hartley*:

$$C = B \log^2 (1 + S/N) \quad (2.13)$$

Keterangan :

C = kapasitas kanal

B = *bandwidth*

S = total daya penerima

N = total daya *noise*

S/N = perbandingan antara sinyal dan *noise*

2.2.11 Energi Bit per Noise (Eb/No)

Energi bit per noise merupakan *signal to noise ratio* yang ternormalisasi, disebut juga dengan SNR per bit. Nilai ini berguna untuk membandingkan antara BER dari skema modulasi digital yang berbeda tanpa memperhitungkan *bandwidth*. E_b adalah energi sinyal yang saling berkaitan dengan setiap bit data pengguna. Hal ini sama dengan kekuatan sinyal dibagi dengan laju bit pengguna. Jika daya sinyal dalam satuan *joule* (*Watt*-detik). Sedangkan N_o ialah kerapatan *spectral* dari *noise*, kekuatan *noise* dalam *bandwidth* 1 Hz, diukur dalam *watt/Hz* atau *joule*[12].