

## **Analisis Pemodelan Kanal untuk Sistem Komunikasi Dengan Frekuensi Millimeter Wave Guna Mendukung Teknologi 5G**

**Endah Setyowati, Galura Muhammad Suranegara.**

Program Studi Sistem Telekomunikasi

Universitas Pendidikan Indonesia

Jalan Dr. Setiabudhi No. 229, kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa barat 40154

*endahsetyowati@upi.edu, galurams@upi.edu*

### **Abstract**

*The advancement of telecommunication technology is towards the fifth generation with several advantages that are better than the previous fourth generation. The use of high frequencies with wavelengths of 1 to 10 millimeters has a higher sensitivity to rain than the frequencies used in current 4G technology. Therefore, it is necessary to make a channel model that can describe the condition of the 5G channel by calculating rain attenuation. The higher the frequency, the greater the rain attenuation so that the best scheme is needed to get a better system performance. This paper describes several considerations regarding the use of system methods and parameters that can make system performance better.*

**Keywords :** 5G, broadband wireless system, millimeter-wave, channel, rain;

### **Abstrak**

Perkembangan teknologi telekomunikasi sedang menuju generasi kelima dengan beberapa keunggulan yang lebih baik daripada generasi sebelumnya. Penggunaan frekuensi tinggi dengan panjang gelombang berukuran 1 sampai 10 milimeter memiliki sensitifitas yang lebih tinggi terhadap hujan dibandingkan frekuensi yang digunakan pada teknologi 4G saat ini. Oleh karenanya, perlu dibuat sebuah model kanal yang dapat menggambarkan kondisi kanal 5G dengan memperhitungkan redaman hujan. Semakin tinggi frekuensi maka redaman hujan akan semakin besar pula sehingga perlu skema terbaik untuk mendapatkan performansi sistem yang baik. Paper ini menjelaskan beberapa pertimbangan mengenai penggunaan metode dan parameter sistem yang dapat membuat performansi sistem menjadi lebih baik.

**Kata kunci :** 5G, broadband wireless system, millimeter-Wave, kanal, hujan;

### **I. PENDAHULUAN**

Teknologi 5G adalah jaringan seluler generasi kelima dengan menghadirkan kemampuan baru yang akan menciptakan peluang menguntungkan bagi orang secara pribadi, bisnis, dan masyarakat. 5G memiliki target untuk meningkatkan kecepatan mencapai 10 kali lipat dari kecepatan 4G [1],[2]. Selain itu, perencanaan 5G yang bertujuan untuk meningkatkan kapasitas jaringan yang lebih tinggi daripada 4G saat ini, memungkinkan kepadatan pengguna *broadband* seluler yang lebih tinggi dan mendukung komunikasi antar-*device* (*device to device*), *ultra-reliable* (kehandalan tinggi), dan interkoneksi perangkat yang sangat banyak (*massive machine communications*). Penelitian 5G juga bertujuan untuk menghasilkan latensi yang lebih rendah dibandingkan perangkat 4G dan konsumsi *battery*/daya yang lebih rendah untuk implementasi IoT (*Internet of Things*) yang lebih baik [1].

*Next Generation Mobile Network* (NGMN) menentukan beberapa standar 5G yang harus dipenuhi sebagai berikut [1]:

- a. Kecepatan data 100 Mbps untuk wilayah metropolitan
- b. 1 Gbps secara bersamaan untuk beberapa pekerja pada suatu lantai kantor yang sama.
- c. Beberapa ratus ribu koneksi secara simultan untuk sensor nirkabel.
- d. Efisiensi spektral yang lebih ditingkatkan secara signifikan dibandingkan dengan 4G.
- e. Cakupan/*coverage* yang ditingkatkan
- f. Peningkatan efisiensi pensinyalan
- g. Mengurangi latensi secara signifikan dibandingkan dengan LTE (*Long Term Evolution*)

Masalah jaringan nirkabel saat ini adalah kebutuhan konsumsi data (baik orang maupun perangkat) yang semakin meningkat namun tetap dengan penggunaan frekuensi radio yang sama. Sehingga *bandwidth* semakin sempit yang menyebabkan layanan menjadi lebih lambat dan banyak koneksi yang terputus. Salah satu cara untuk mengatasinya adalah penggunaan spektrum frekuensi baru yang belum digunakan untuk layanan seluler sebelumnya. Itulah sebabnya dilakukan penelitian penggunaan frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi telekomunikasi seluler

sebelumnya. Sehingga menjadi salah satu alternatif untuk teknologi berikutnya, yaitu 5G dengan beberapa standar baru yang mendukung peningkatan layanan [2].

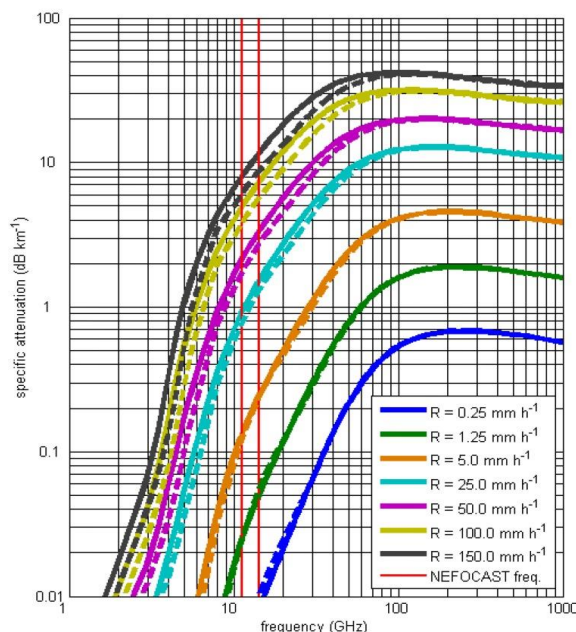
Penggunaan frekuensi tinggi tersebut berada pada frekuensi antara 30 sampai 300 GHz. Frekuensi pada rentang itu disebut *millimeter-wave* karena panjang gelombangnya bervariasi dari 1 hingga 10 mm. Frekuensi tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan pita frekuensi yang digunakan untuk perangkat seluler pada teknologi sebelumnya yaitu di bawah 6 GHz dengan panjang gelombang radio yang berukuran puluhan sentimeter. Hingga saat ini hanya operator satelit dan sistem radar yang menggunakan *millimeter-wave* untuk sistem komunikasinya. [2]

Terdapat satu kelemahan utama *millimeter-wave* yaitu gelombang tersebut tidak dapat dengan mudah melewati gedung atau rintangan. Selain itu, *millimeter-wave* juga dapat terserap oleh dedaunan dan hujan[2]. Oleh karena itu, paper ini bertujuan untuk mendeskripsikan model kanal yang cocok untuk teknologi 5G dengan memperhitungkan curah hujan.

## II. METODE

### A. Redaman Hujan

Semakin tinggi frekuensi, maka semakin sensitif terhadap hujan. Itu artinya semakin tinggi frekuensi maka semakin besar redaman akibat hujan. Hal itu pun diperkuat dengan gambar berikut :



Gambar 1. Redaman vs frekuensi (dengan parameter curah hujan) [3]

Gambar 1 menunjukkan hubungan antara redaman spesifik dalam dB/km dengan frekuensi *carrier* dalam GHz (dari rekomendasi ITU-R P.838-3), dengan parameter nilai curah hujan (mm/jam). Garis solid dan garis putus-putus masing-masing mengacu pada polarisasi horizontal dan vertikal [3].

### B. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

OFDM adalah teknik modulasi *multicarrier*, dimana antar *sub-carrier* saling orthogonal satu sama lain [4],[5]. Jarak antara *sub-carrier* disusun sedemikian rupa, sehingga antar *sub-carrier* dibedakan dengan sebuah simbol dan masing-masing simbol saling *orthogonal* atau tidak saling mempengaruhi. Sebuah simbol dikatakan *orthogonal* dengan yang lain jika faktor korelasinya 0 [5]. Dengan *sub-carrier* yang saling orthogonal ini, maka penggunaan spektrum antar-*sub-carrier* akan saling *overlap* tanpa menimbulkan efek *intercarrier interference* (ICI) dan sangat menghemat spektrum frekuensi [4].

Beberapa *sub-carrier* yang saling *orthogonal* ini bertujuan membagi laju data kecepatan tinggi menjadi beberapa laju data kecepatan rendah yang ditransmisikan secara simultan. Laju data yang rendah pada masing-masing *sub-carrier* menyebabkan periode simbol yang lebih panjang dan *bandwidth sub-carrier* akan menjadi lebih sempit. Hal ini akan menghemat penggunaan *bandwidth*.

Selain itu, teknik OFDM juga dapat mengurangi ISI (*Inter Symbol Interference*) yang disebabkan oleh adanya *multipath*. *Cyclic prefix* dapat disisipkan diantara simbol-simbol OFDM. Apabila *cyclic prefix* lebih besar dari lebar waktu tunda *multipath* maka ISI dapat dihilangkan [6]. Konfigurasi sistem OFDM yang umum digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.

Masing-masing blok pada Gambar 2 dapat dijelaskan sebagai berikut [7]:

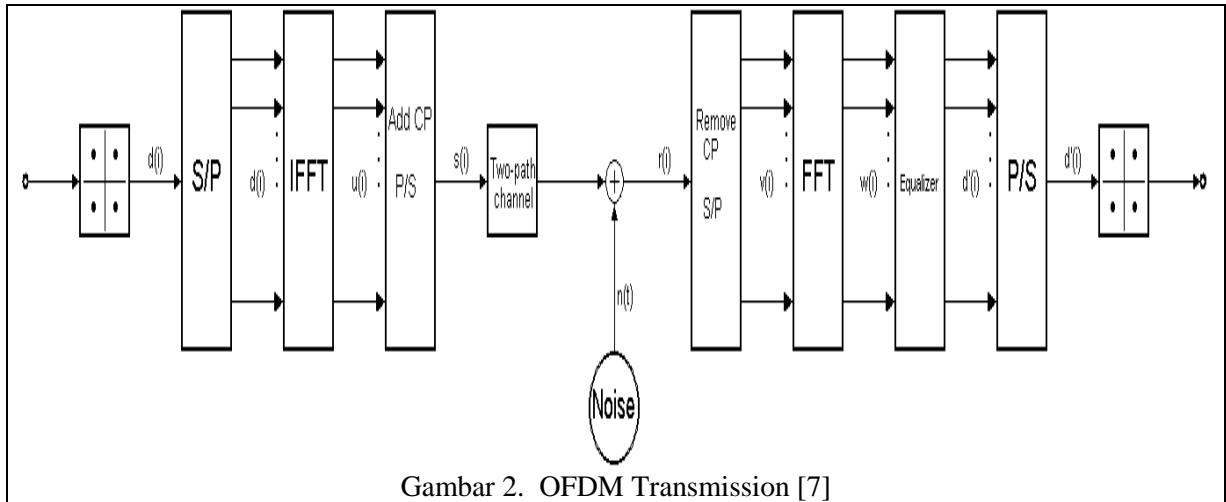
d (i): Urutan data acak.

u (i): IFFT-mengubah menjadi simbol OFDM.

s (i): *Guard Interval* (GI) ditambahkan, yaitu simbol OFDM diperpanjang dengan awalan siklik yang berisi simbol tunggal terakhir.

r (i): Simbol yang diterima diturunkan nilainya oleh saluran.

v(i): Simbol OFDM diperoleh dengan menghapus GI, yaitu dua simbol tunggal pertama.



Gambar 2. OFDM Transmission [7]

w (i): FFT-mengubah representasi spektral dari simbol OFDM.

d' (i): Sinyal disamakan:  $d' (i) = w (i) \cdot H_{E,i}$ . Dengan  $H_{E,i}$  adalah koefisien equalizer. Equalizer yang disesuaikan dengan saluran memungkinkan deteksi bebas ISI:  $d' (i) = d (i)$

### C. Modulasi

Salah satu aspek dasar yang penting dalam sistem komunikasi radio adalah modulasi. Modulasi merupakan teknik penumpangan informasi/pesan pada gelombang radio yang berfungsi sebagai pembawanya. Berdasarkan sinyal informasi yang akan dikirim, terdapat dua jenis modulasi yaitu modulasi analog dan digital [8].

Modulasi analog adalah teknik modulasi untuk sinyal informasi analog. Berdasarkan parameter suatu gelombang sinus, terdapat 3 jenis modulasi analog yang sering digunakan pada sistem komunikasi radio, yaitu *Amplitude Modulation (AM)*, *Frequency Modulation (FM)*, dan *Phase Modulation (PM)*. [8]

Modulasi digital adalah teknik modulasi untuk sinyal digital. Sinyal digital adalah sinyal data dalam bentuk pulsa dan hanya memiliki dua kondisi yaitu 0 (ON) dan 1 (OFF). Sinyal digital memiliki beberapa kelebihan, yaitu tidak mudah terpengaruh oleh derau, proses informasi mudah, cepat dan akurat. Modulasi digital terdiri dari tiga jenis, yaitu *Amplitude Shift Keying (ASK)*, *Frequency Shift Keying (FSK)*, dan *Phase Shift Keying (PSK)*. [8]

Sedangkan QAM (*Quadrature Amplitude Modulasi*) merupakan sebuah skema modulasi digital kombinasi dari dua modulasi digital *Amplitude Shift Keying (ASK)* dan *Phase Shift Keying (PSK)*.

### D. Forward Error Correction (FEC)

Proses pengiriman maupun penerimaan data yang semakin besar akan menghasilkan kemungkinan terjadinya kesalahan dalam transmisi data tersebut. Sehingga diperlukan suatu proses untuk mengoreksi dan mendeteksi *error* data yang terjadi akibat proses pengiriman data atau disebut *error control coding*. Beberapa jenis koreksi *error* adalah *Automatic Repeat Request (ARQ)*, *Forward Error Correction (FEC)*, dan *Hybrid Scheme*.

FEC adalah proses menambahkan bit seperti *Error Correcting Code (ECC)* ke pesan sehingga dapat dipulihkan oleh penerima ketika sejumlah kesalahan (sesuai kemampuan teknik pengkodean yang digunakan) diketahui baik selama proses transmisi atau penyimpanan.

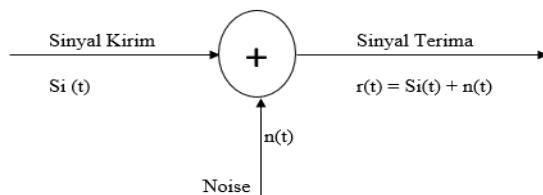
*Error-correction codes* biasanya dibedakan menjadi *convolutional codes* dan *block codes*, yaitu :

1. *Convolutional codes*, diproses bit demi bit, sangat cocok diimplementasikan pada perangkat keras.
2. *Block codes*, diproses blok demi blok. Contohnya adalah kode pengulangan, kode Hamming, dan multidimensional *parity-check codes*. Kode tersebut diikuti oleh sejumlah kode yang efisien, kode Reed-Solomon menjadi yang paling terkenal karena penggunaannya yang meluas. Kode Turbo dan LDPC (*Low Density Parity Check*) adalah konstruktif yang relatif baru dan dapat memberikan performansi hampir mendekati kapasitas Shannon/ Shannon Limit. Kapasitas kanal adalah banyaknya informasi yang bisa dilewatkan dalam sebuah kanal transmisi. Shannon Limit adalah batas kapasitas maksimum dari suatu kanal untuk megirimkan data tanpa adanya *error*.

LDPC pertama kali ditemukan oleh Galagher pada 1960 dan hampir tidak dianggap lagi sekitar 35 tahun kemudian. Setelah itu, muncul Tanner pada tahun 1982 yaitu mengembangkan kode LDPC dan memperkenalkan representasi grafik kode LDPC, yang kemudian dikenal dengan Tanner Graph. Pembelajaran tentang kode LDPC dihidupkan kembali sekitar tahun 1990, yang dikerjakan oleh MacKay, Luby, dan lain-lain. Ketika pertama kali ditemukan, karena batas daya komputer saat itu yang belum tinggi, kode ini dianggap tidak praktis, dan terlupakan. Saat ini dengan kehebatan daya komputer yang telah hadir, kode LDPC telah digunakan kembali dan termasuk ke dalam kode dengan performa terbaik pada kondisi kepadatan rendah. Sistem Gallager memiliki keuntungan dari *linear block code* yang menggunakan *parity check* matrik dengan jarang (*low density* atau jumlah elemen *non-zero* yang sedikit) [9].

#### E. Model Kanal

AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) merupakan suatu proses stokastik yang terjadi pada kanal dengan karakteristik yaitu memiliki rapat spektral daya noise merata di sepanjang range frekuensi. Model kanal AWGN terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Model Kanal AWGN

Derau AWGN merupakan gangguan yang bersifat *additive* dan dimodelkan dalam pola distribusi acak Gaussian dengan mean ( $m$ ) = 0, standar deviasi ( $\sigma$ ) = 1, power spectral density =  $N_0/2$  (W/Hz), dan mempunyai rapat spektral daya yang tersebar merata pada lebar pita frekuensi tak berhingga. Sinyal yang diterima  $S_{rx}(t) = S_{tx}(t) + n(t)$ ,  $0 \leq t \leq T$ . Distribusi AWGN dengan pdf (probability density function) [10]:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (1)$$

dimana :

- $p(x)$  : probabilitas kemunculan derau,
- $\sigma$  : standar deviasi
- $m$  : rata-rata (mean)
- $x$  : variable (tegangan atau daya sinyal)

Sedangkan *Rayleigh fading* adalah *fading* yang dihasilkan akibat *multipath*. Propagasi sinyal dari pengirim menuju ke penerima dalam lingkungan nirkabel, akan mengalami berbagai gangguan seperti : pantulan, redaman, difraksi, hamburan, dll, sehingga penerima akan menerima sinyal hasil penjumlahan dari berbagai lintasan akibat mengalami kondisi di atas. Sinyal tersebut akan mengalami variasi amplitudo dan fasa yang acak sepanjang periode waktu yang cukup singkat. Sinyal yang diterima penerima adalah sinyal yang mengalami distorsi akibat efek kanal atau yang biasa disebut *small scale fading*. Faktor-faktor yang mempengaruhi *small scale fading* adalah :

#### 1. Multipath Propagation

Adanya objek-objek pemantul pada kanal mengakibatkan disipasi energi sinyal. Disipasi energi sinyal tersebut dapat berupa disipasi amplitudo, fasa, dan waktu. Hal ini mengakibatkan sinyal yang diterima di penerima menjadi dua jenis, yaitu langsung (*direct*) dan tunda (*delay*), dengan variasi amplitudo dan fasa yang acak pada tiap komponen *multipath* sehingga mengakibatkan *intersymbol interference* (ISI) [6]. *Multipath* menyebabkan *time disposition* tertentu yang akan menghasilkan *time delay spread* tertentu, sehingga :

$$B_c = \frac{1}{5\sigma_\tau} \quad (2)$$

dengan  $\sigma_\tau$  adalah *delay spread*.

- a. *Flat fading*, terjadi ketika :
  - *bandwidth* (BW) sinyal < BW *coherence*
  - *delay spread* < *time symbol* ( $T_s$ )
- b. *Frequency selective fading*, terjadi ketika:
  - BW sinyal > BW *coherence*
  - *delay spread* > *time symbol* ( $T_s$ )

#### 2. Pergeseran Mobile Station (MS)

Pergeseran relatif antara pemancar dan penerima menghasilkan efek pergeseran Doppler, yaitu pergeseran frekuensi modulasi yang acak pada tiap komponen *multipath*. Hal ini mengakibatkan pelebaran spektral sinyal. Pergeseran MS menyebabkan munculnya *frequency disposition* dan *doppler shift* ( $f_d$ ). Dengan nilai  $T_c = 0,423/f_d$ .

- a. *Slow fading*, terjadi jika :
  - periode sinyal/symbol ( $T_s$ ) *coherence time* ( $T_c$ )
- b. *Fast fading*, terjadi jika :  $T_s < T_c$

3. *Kecepatan objek-objek di lingkungan kanal*

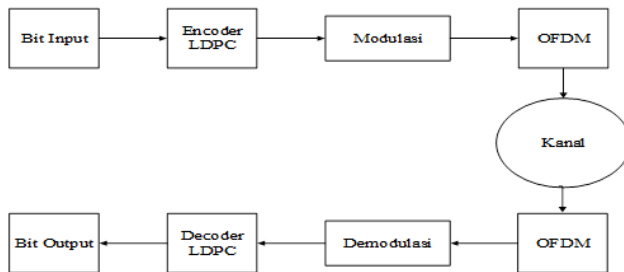
Jika objek-objek pada kanal dalam keadaan bergerak, maka akan mengakibatkan *time varying doppler shift*.

4. *Bandwith transmisi sinyal*

Jika *bandwith* sinyal yang dikirimkan lebih besar dari *bandwith* kanal, maka sinyal yang diterima akan mengalami distorsi. Hal ini berhubungan dengan *bandwith* koheren dari kanal.

**III. PEMODELAN SISTEM**

Bagian ini membahas mengenai pemodelan sistem komunikasi dengan teknologi millimeter-wave yang sensitif terhadap hujan untuk mendapatkan performansi sistem yang baik. Blok diagram sistem yang dibahas pada paper ini terdapat pada Gambar 4 .



Gambar 4. Blok Diagram System

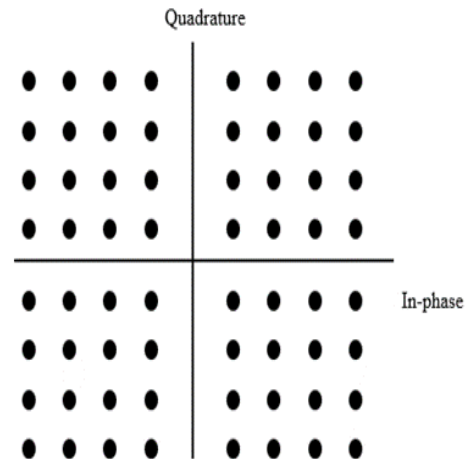
Berdasarkan Gambar 4. Bit-bit input akan ditambahkan bit-bit kode LDPC lalu dimodulasi dan masuk ke blok OFDM kemudian ditransmitkan ke kanal. Setelah melalui kanal dengan mengalami berbagai gangguan, bit-bit tersebut kemudian masuk kembali ke blok OFDM kemudian dilakukan demodulasi dan pada blok decoder LDPC dilakukan koreksi *error* sampai menjadi bit-bit output yang ketika terjadi *error* akan ada perbedaan pada nilai bit tersebut.

A. *QAM (Quadrature Amplitude Modulation)*

QAM merupakan suatu cara untuk pentransmisi laju bit-bit yang lebih tinggi pada kanal dengan *bandwith* yang terbatas. QAM lebih cocok untuk modulasi tingkat tinggi dibandingkan PSK. Hal tersebut disebabkan oleh penggunaan modulasi PSK untuk modulasi tingkat tinggi menyebabkan perbedaan fasa antar-simbol menjadi sangat kecil sehingga menyebabkan proses deteksi rentan terhadap *error*. Persamaan sinyal QAM dituliskan sebagai berikut [11] :

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E_i(t)}{T}} \cos[\omega_o + \Phi_i] \quad (3)$$

dengan syarat batas  $0 \leq t \leq T$ ,  $i = 1, 2, \dots, M$ .



Gambar 5. Diagram Konstelasi 64-QAM [12]

QAM digunakan dengan *Pulse Amplitude Modulation* (PAM) dalam sistem digital, terutama aplikasi nirkabel. Informasinya terdiri dari amplitudo dan fasa dari sinyal pembawa. Gambar 5 adalah contoh diagram konstelasi 64-QAM yaitu menggunakan nilai  $M = 6$ . Pada QAM sinyal yang dikirimkan terbagi menjadi dua yaitu, Inphase dan Quadrature. Inphase merupakan bagian yang real, dan Quadrature bagian imajineranya.

B. *LDPC (Low Density Parity Check)*

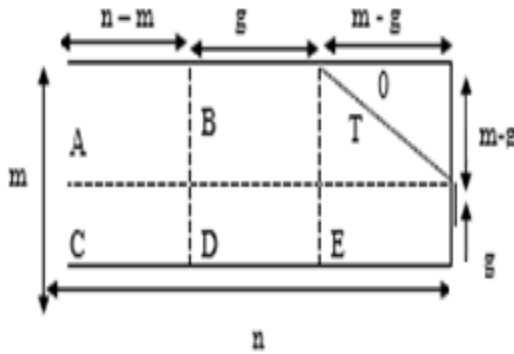
LDPC merupakan salah satu teknik pengkodean kanal yang menawarkan performansi tinggi, efisiensi, dan skalabilitas untuk eMBB maupun kasus lainnya [1]. Keuntungan LDPC code dibandingkan dengan Turbo Code adalah [11]:

1. Tidak membutuhkan *interleaver* yang panjang untuk mendapatkan performansi yang baik.
2. Memiliki *block error performance* yang lebih baik.
3. *Error* yang terjadi sedikit dengan BER yang lebih rendah.
4. *Decoding* tidak berdasar pada trellis.

Pengkodean LDPC adalah salah satu kelas dari *linear block code* yang memiliki kepadatan rendah, nama itu berasal dari karakteristik *parity check*-nya yang hanya berisi sedikit bit “1” jika dibandingkan dengan jumlah bit “0”.

1) *Lower Triangular Shaped Based*

Metode encoding dengan teknik *Lower Triangular Shaped Based* yang diperkenalkan oleh Thomas J. Richardson dan Rudiger L. Urbanke pada tahun 2001 merupakan metode encoding yang efisien untuk kode LDPC. Tujuan dari metode encoding ini adalah membentuk matriks *parity check* P dalam bentuk *lower triangular shape* seperti pada Gambar 6 berikut [13].



Gambar 6. Model Matriks Parity Check [13]

## 2) Bit Flipping (BF)

Metode *decoding Bit Flipping* didasarkan pada penandaan hard decision (0 atau 1) untuk setiap bit yang diterima. Bagian yang penting dari *decoding bit flipping* adalah pelewatan pesan (message passing) antarnode pada grafik Tanner. Algoritma *hard decision decoding* yaitu *Bit Flipping* (oleh Sarah J. Johnson), sebagai berikut [14]:

1. Inisialisasi : setiap *variable node* menandai nilai bit yang diterima kanal dan mengirimkan pesan ke *check node* yang terhubung pada Tanner graph yang mengindikasikan nilainya.
2. *Parity update* : dengan menggunakan pesan dari *variable node*, setiap *check node* mengecek apakah persamaan check paritas terpenuhi. Jika seluruh *check* paritas terpenuhi, algoritma berhenti. Jika tidak, setiap *check node* mengirimkan pesan ke *variable node* yang terhubung mengindikasikan apakah persamaan *check* paritas terpenuhi atau tidak.
3. *Variable update* : jika mayoritas pesan yang diterima setiap *message node* tidak memenuhi, *variable node* merubah (*flip*) nilai saat ini. Kemudian kembali ke langkah 2, jika jumlah iterasi maksimum terlampaui dan *codeword* belum valid, maka algoritma berhenti dan pesan *failure to converge* dilaporkan.

## C. Parameter OFDM

### 1) Iterasi Kanal

Jumlah iterasi pada kanal AWGN dan Rayleigh sangat mempengaruhi performansi sistem, seperti yang sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya [9], didapatkan *coding gain* sebesar  $\pm 2$  dB untuk kanal AWGN dan  $\pm 6$  dB untuk Rayleigh fading untuk iterasi sebanyak 30. Berdasarkan hal tersebut, dalam membuat suatu sistem nilai iterasi kanal juga perlu diperhatikan.

### 2) Cyclic Prefix (CP)

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.

### 3) Jumlah subcarrier

Aliran data yang serial diubah menjadi paralel dengan jumlah *subcarrier* yang diinginkan. Tujuannya adalah untuk membagi laju data berkecepatan tinggi menjadi lebih rendah. Jumlah *subcarrier* yang digunakan pada sistem OFDM juga dapat mempengaruhi performansi sistem. Jumlah *subcarrier* yang umum digunakan adalah 128 *subcarrier*.

## D. Rainrate di Purwakarta

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki dua musim, yaitu musim hujan dan kemarau, sehingga dapat diperkirakan bahwa musim hujan akan berlangsung kurang lebih selama 6 bulan. Penggunaan frekuensi tinggi sangat sensitif terhadap hujan. Oleh sebab itu, curah hujan di Indonesia perlu diperhitungkan dalam pengukuran performansi sistem.

ITU-R P. 837-7 [15] memiliki data terkait nilai curah hujan berdasarkan letak geografis suatu daerah. Untuk wilayah Purwakarta, Indonesia memiliki *Longitude* 107.449944 dan *Latitude* -6.538681, sehingga berdasarkan ITU-R P.837-7 [15] nilai curah hujannya adalah 90 mm/h.

## IV. PEMBAHASAN

Dari hasil pemodelan sistem yang telah dibahas pada bagian sebelumnya, untuk membuat suatu pemodelan sistem komunikasi pada frekuensi 60 GHz dengan memperhitungkan atenuasi akibat hujan, perlu dirancang spesifikasi sistem dengan baik agar didapat performansi sistem yang baik.

### A. Modulasi

Modulasi yang cocok digunakan untuk sistem komunikasi dengan penggunaan millimeter wave pada paper ini adalah QAM.

M-QAM dengan nilai M-ary yaitu 4=22, 16=24, dan 64=26 memiliki arti bahwa untuk setiap bit info sebanyak 2, 4, dan 6 ditumpangkan menjadi satu symbol. Semakin tinggi nilai M-nya pada M-QAM, maka akan semakin banyak bit info yang ditumpangkan dalam satu symbol tersebut, sehingga jika kanal pada sistem tersebut memiliki

kondisi yang sangat buruk, probabilitas rusaknya simbol-simbol yang membawa bit info tersebut pun akan semakin meningkat.

Sistem komunikasi yang menggunakan frekuensi tinggi akan lebih sensitif terhadap hujan sehingga akan menimbulkan tambahan atenuasi hujan yang artinya memperburuk kondisi kanal dan menyebabkan kemungkinan *error* bit yang diterima lebih banyak. Untuk itu, jika kondisi kanal sangat buruk, direkomendasikan untuk menggunakan M-ary yang lebih rendah.

### B. Spesifikasi LDPC

Jumlah iterasi *decoding* juga menentukan hasil koreksi kesalahan dari metode *decoding*. Semakin banyak iterasi yang dilakukan, maka akan semakin baik kinerja sistemnya. Hal ini telah dibuktikan pada penelitian yang telah dilakukan [16], dengan LDPC *code rate* 1/2 dan iterasi sebanyak 32, sistem mendapatkan performansi yang lebih baik daripada jumlah iterasi yang lebih rendah.

Berdasarkan paper [9] jumlah iterasi pada metode *decoding log domain sum product* sebanyak 30 mendapatkan hasil terbaik dibandingkan iterasi 10 dan 20. Hal tersebut karena semakin banyak jumlah iterasi *decoding* maka proses koreksi *error* akan semakin baik, namun waktu komputasi dalam proses simulasi akan semakin lama, sehingga perlu dipertimbangkan dengan baik penentuan jumlah iterasi *decoding*.

Jumlah iterasi *decoding* juga turut menentukan hasil koreksi *error* suatu metode *decoding*. Semakin banyak iterasi yang dilakukan, maka performansi sistem akan semakin baik. Untuk itu, iterasi *decoding* sebanyak 30 kali dirasa sudah cukup tepat untuk proses simulasi sistem komunikasi ini.

### C. Iterasi Kanal

Iterasi kanal dalam membuat pemodelan juga menjadi salah satu hal penting yang perlu diperhatikan. Iterasi kanal sebanyak 30 kali sudah cukup baik untuk membuat pemodelan sistem ini. Karena semakin banyak jumlah iterasi, maka waktu komputasi dalam melakukan simulasi akan semakin panjang.

## V. KESIMPULAN

Dengan potensi penawaran kapasitas tinggi yang memberikan *data rate* tinggi, sistem *millimeter-wave* menjadi kandidat yang menjanjikan untuk teknologi 5G. Gelombang milimeter pada pita 60 GHz lebih sensitif terhadap curah hujan dibandingkan dengan pita bawah. Ada beberapa metode dan parameter sistem yang harus

diperhatikan untuk mengkompensasi redaman curah hujan. M-QAM adalah salah satu skema modulasi yang memberikan kinerja sistem yang lebih baik. Dalam menentukan penggunaan M-ary pada QAM perlu memperhatikan kondisi kanal. Semakin tinggi M-ary pada modulasi QAM pada kanal yang buruk, maka akan semakin buruk juga kinerja sistem. Kemudian, penggunaan pengkodean saluran seperti kode LDPC juga berperan penting dalam mendapatkan kinerja sistem yang lebih baik daripada skema pengkodean saluran lainnya. Jumlah *decoding* dan iterasi kanal pada sistem simulasi ini juga memiliki pengaruh yang cukup besar untuk mendapatkan hasil grafik yang baik. Dari penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan bahwa banyak metode dan parameter sistem yang perlu diatur untuk mendapatkan hasil performansi terbaik, dan beberapa pertimbangan untuk menentukan parameter sistem sudah dijelaskan.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kami ucapkan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Pendidikan Indonesia (UPI) yang telah membiayai penelitian kami.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE 5G And Beyond Technology Roadmap White Paper. Tersedia pada : [https://futurenetworks.ieee.org/images/file\\_s/pdf/ieee-5g-roadmap-white-paper.pdf](https://futurenetworks.ieee.org/images/file_s/pdf/ieee-5g-roadmap-white-paper.pdf)
- [2] Amy Nordrum, Kristen Clark and IEEE Spectrum Staff. High-frequency millimeter waves will greatly increase wireless capacity and speeds for future 5G networks. 5G Bytes: Millimeter Waves Explained. 06 Mei 2017.
- [3] F. Giannetti et al., "Real-time rain rate evaluation via satellite downlink signal attenuation measurement," *Sensors*, vol. 17, no. 8, p. 1864, 2017.
- [4] Rohde & Schwarz. WLAN 802.11n: From SISO to MIMO. Application Note.
- [5] Louis Litwin dan Michael Pugel. 2001. The Principles of OFDM. <http://rfdesign.com/>.
- [6] Zhixiang Chen, Xiongxin Zhao, Xiao Peng, Dajiang Zhou, dan Satoshi Goto. 2009. An Early Stopping Criterion for Decoding LDPC Codes in WiMAX and Wi-Fi Standards. Japan : IEEE
- [7] OFDM transmission step-by-step. labAlive. Diakses Online <https://www.etti.unibw.de/labalive/experiment/ofdmstepbystep/>

- [8] Dickson Kho. Pengertian Modulasi dan Jenis-jenisnya. [teknikelektronika.com](http://teknikelektronika.com). Diakses online : <https://teknikelektronika.com/pengertian-modulasi-jenis-modulasi-analog-digital/>
- [9] Hamka dan Yoedi Moegiharto. Analisis Kinerja Penggunaan Kode (LDPC) Low Density Parity Check pada Kanal Multipath Fading. Surabaya : Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Institut Teknologi Sepuluh November
- [10] Roy D. Yates, David J. Goodman, Probability and Stochastic Processes: A Friendly Introduction for Electrical and Computer Engineers, 2nd Edition, JOHN WILEY & SONS, INC. 2005.
- [11] CNC lab. Low Density Parity Check Codes. Communication and Coding Laboratory.
- [12] QAM Formats: 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM, 256-QAM. Diakses Online : <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/modulation/quadrature-amplitude-modulation-types-8qam-16qam-32qam-64qam-128qam-256qam.php>
- [13] Richardson, Thomas J. and Rudiger L. Urbanke. 2001. Efficient Encoding of Low-Density Parity-Check Codes. IEEE Transactions on Information Theory, Vol.47, No. 2.
- [14] Johnson, Sarah J. Introduction Low-Density Parity-Check Codes. School of Electrical Engineering and Computer Science, The University of Newcastle, Australia.
- [15] Recommendation ITU-R P.837-7: Characteristics of precipitation for propagation modelling.
- [16] Tahir, S. Schwarz and M. Rupp, "BER comparison between Convolutional, Turbo, LDPC, and Polar codes," 2017. 24th International Conference on Telecommunications (ICT), Limassol, 2017, pp. 1-7. doi: 10.1109/ICT.2017.7998249.