



## UNJUK KERJA ON OFF KEYING DAN PULSE POSITION MODULATION PADA JARINGAN OPTICAL WIRELESS CDMA

Devi Rahmayanti<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Fakultas Teknik dan Informatika / Jurusan Teknik elektro, [devi@unigamalang.ac.id](mailto:devi@unigamalang.ac.id), Universitas Gajayana Malang

### Abstract

Optical Wireless Network is a communication system that utilizes the frequency of light as its transmission medium, using the infrared frequency region as the wavelength. In optical wireless, information is sent using the medium of air via optical light, generally used over relatively short distances, and of course it is greatly influenced by weather conditions, the presence of sunlight, lightning, lamps or light that has a wavelength in the infrared region. This disturbing condition will greatly affect the quality of data and information transmission, especially if the signal transmission distance is longer. Interference can cause errors in the transmitted signal bits, so that the receiver or recipients will translate the signal into a different form of data and information. Method: error rate probability which is influenced by transmission factors, namely the number of users, binary code weight, code length, number of data bits, rate probability and also the speed increase factor. This study aims to analyze the performance of the Probability of Bit Error Rate in wireless optical communication systems using OOK-CDMA and PPM-CDMA. The results show that the Probability of Bit Error or Bit Error Rate on PPM-CDMA provides better performance than OOK-CDMA.

**Keywords:** bit error rate, on off keying, pulse position modulation

### Abstrak

Jaringan Optical Wireless adalah sistem komunikasi yang memanfaatkan frekuensi cahaya sebagai media transmisinya, dengan menggunakan daerah frekuensi infra merah sebagai panjang gelombang. Dalam optical wireless, informasi dikirim menggunakan media udara melalui cahaya optik, umumnya digunakan dalam jarak yang relatif pendek, dan tentu saja sangat dipengaruhi oleh keadaan cuaca, adanya sinar matahari, petir, lampu atau cahaya yang memiliki panjang gelombang pada daerah infra merah. Kondisi yang mengganggu ini akan sangat mempengaruhi kualitas transmisi data dan informasi, apalagi jika jarak transmisi sinyal semakin jauh. Interferensi dapat menyebabkan kesalahan pada bit-bit sinyal yang dikirimkan, sehingga penerima atau penerima akan menerjemahkan sinyal tersebut menjadi bentuk data dan informasi yang berbeda. Metode: probabilitas error rate yang dipengaruhi oleh faktor transmisi yaitu jumlah user, bobot kode biner, panjang kode, jumlah bit data, probabilitas rate dan juga faktor peningkatan kecepatan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performansi Probability of Bit Error Rate pada sistem komunikasi optik nirkabel menggunakan OOK-CDMA dan PPM-CDMA. Hasil menunjukkan bahwa Probability of Bit Error atau Bit Error Rate pada PPM-CDMA memberikan performansi yang lebih baik dibandingkan OOK-CDMA.

**Kata Kunci:** bit error rate, on off keying, pulse position modulation

### 1. PENDAHULUAN

Sistem komunikasi wireless optik merupakan sistem komunikasi yang memanfaatkan frekuensi cahaya sebagai media transmisi. Daerah panjang gelombang yang digunakan adalah pada daerah infrared. Dalam proses transmisi telekomunikasi yang menggunakan media udara sebagai mediana, kondisi dan keadaan cuaca pasti sangat mempengaruhi unjuk kerjanya, seperti adanya cahaya matahari, kilat, lampu atau cahaya yang memiliki panjang gelombang pada daerah panjang gelombang infrared. Kondisi yang mengganggu ini akan sangat mempengaruhi kualitas pengiriman data dan informasi, utamanya jika jarak transmisi sinyal semakin besar. Gangguan dapat menyebabkan kesalahan pada bit-bit sinyal yang dikirimkan, sehingga *receifer* atau penerima akan menerjemahkan sinyal tersebut ke dalam bentuk data dan informasi yang berbeda, tidak sesuai dengan data dan informasi yang dikirimkan. Dimana tingkat kesalahan bit-bit data ini disebut Bit Error Rate (BER) atau dapat juga disebutkan sebagai kemungkinan kesalahan bit ( $P_b$  = Probabilitas Bit Error)

Hal-hal yang merupakan gangguan pada proses transmisi dapat mengakibatkan bit-bit yang kemudian akan diterjemahkan oleh receiver (penerima). Kesalahan penerimaan bit-bit data yang ditransmisikan oleh penerima biasa disebut dengan BER (*Bit Error Rate*).

Pada penelitian ini penulis akan membahas tingkat kesalahan bit dengan menggunakan sistem OOK-CDMA (On Off Keying – Code Division Multiple Acces) yang dibandingkan dengan PPM-CDMA (*Pulse Position Modulation-Code Division Multiple Access*) pada jaringan komunikasi wireless optik.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

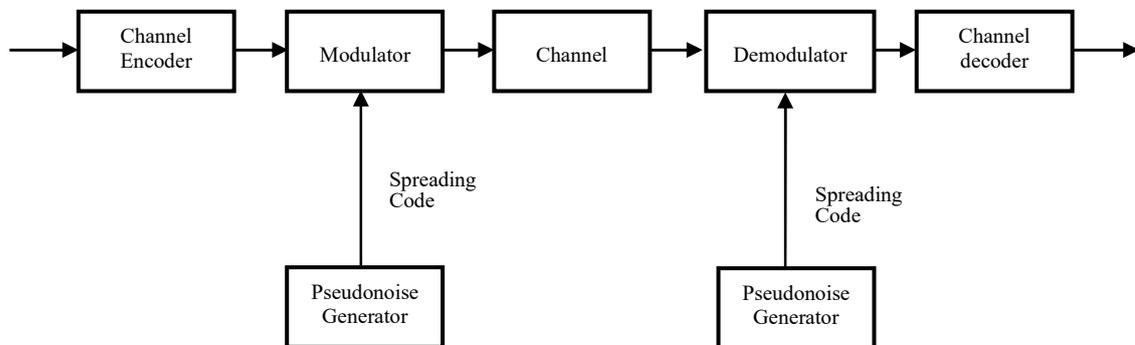
### 2.1. Spread Spektrum

Teknik spread spektrum merupakan suatu teknik yang memungkinkan beberapa *user* menggunakan bandwidth yang sama pada waktu yang sama tanpa terjadi interferensi satu sama lain, dengan cara menempatkan semua sinyal komunikasi pada spektrum frekuensi yang tersedia. Bandwidth transmisi yang digunakan pada sistem ini jauh lebih lebar dibanding bandwidth minimum yang diperlukan pada sistem modulasi konvensional seperti AM, FM, FSK, atau PSK. Salah satu sistem spread spektrum yang paling sering digunakan untuk komunikasi CDMA (*Code Division Multiple Access*) adalah sistem *Direct Sequence Spread Spektrum* (DS-SS) karena sistem ini memiliki kelebihan kebal terhadap jamming dan interferensi.

Ciri khas sistem spread spektrum adalah: dibutuhkan bandwidth yang besar dalam mengirim informasi, teknik spreading sinyal dilakukan dengan suatu model kode sinyal yang memiliki sifat independen terhadap data kemudian *dispreading* pada penerima (*receiver*) dilakukan dengan menyesuaikan spread sinyal yang diterima dengan replika (perulangan) sinyal dari spread sinyal informasi.

Pada sistem spread spectrum, encoder dan decoder merupakan komponen utama selain modulator dan demodulator. Pada modulator dan demodulator, ditambahkan generator kode yang menghasilkan kode-kode biner yang akan ditambahkan pada modulator sebelum sinyal ditransmisikan dan memisahkannya setelah sinyal diterima oleh demodulator.

Semakin lebar bandwidth yang digunakan pada sistem spread spectrum, akan meningkatkan jumlah kanal yang dapat dipergunakan, semakin tahan terhadap gangguan dan jamming, serta memiliki jaminan tingkat kerahasiaan pesan yang semakin baik. Konsep spread spektrum dapat dijelaskan pada gambar 1 berikut ini.



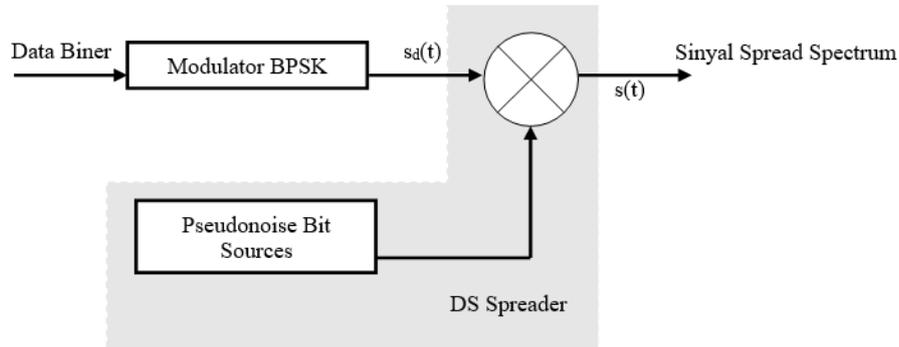
Gambar 1. Diagram Konsep Dasar Spread Spectrum

Gambar 1 menjelaskan bahwa pada masukan (input), informasi masuk ke dalam channel encoder. Keluaran channel encoder ini menghasilkan sinyal analog dengan bandwidth yang relatif kecil. Sinyal analog (keluaran channel encoder) ini dimodulasi menggunakan pseudorandom sequence atau digit yang tidak beraturan sehingga dapat meningkatkan bandwidth secara signifikan yang menyebarkan spektrum sinyal yang ditransmisikan. Pada sisi penerima (*receiver*) deretan digit yang sama seperti saat dimodulasi, digunakan untuk mendemodulasi sinyal spektrum transmisi untuk berikutnya, melalui channel decoder hingga didapatkan informasi dan pesan sebagaimana yang dikirimkan.

Keuntungan sistem spread spectrum adalah memiliki tingkat kehandalan yang tinggi, tidak mudah terpengaruh oleh adanya gangguan, multipath distortion, maupun noises atau jamming. Selain itu, sistem ini juga mampu mangacak sinyal informasi, sehingga hanya decoder yang dituju saja yang dapat menerima

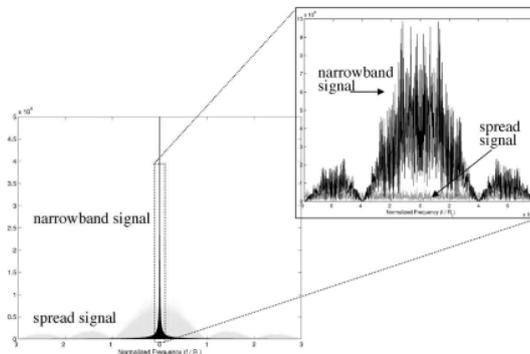
sinyal informasi yang dikirimkan. Lebih jauh, spread spektrum memungkinkan penggunaan banyak pengguna (*user*) dalam bandwidth yang besar dengan interferensi yang sangat minim.

Pada penelitian ini, digunakan DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) dimana lebar bandwidth transmisi yang digunakan jauh lebih lebar dibandingkan dengan bandwidth yang dibutuhkan dalam pentransmisi informasi. Sehingga, sinyal informasi yang telah termodulasi secara digital dan mempunyai bandwidth yang terbatas akan ditempatkan pada daerah frekuensi yang lebih lebar dan dapat bekerja pada daya yang cukup rendah.



Gambar 2. Blok Diagram Transmitter DSSS

Pada transmitter DSSS, proses spreading dilakukan dengan perkalian secara langsung (*direct*) antara sinyal informasi yang telah dimodulasi digital dengan urutan spreading code dan lebar bandwidth sinyal informasi yang tergantung pada laju chip yang dihasilkan oleh pseudo noise generator (panjang urutan dapat diseting dan diprogram). Sebaliknya, pada sisi penerima, tugas yang dilakukan oleh receiver DSSS adalah kebalikan dari transmitter DSSS. Sebagai contoh, pada gambar 3 berikut adalah sinyal DSSS dengan bentuk pulsa kotak.



Gambar 3. Perbandingan sinyal DSSS dengan bentuk pulsa kotak [13]

## 2.2. Code Division Multiple Access CDMA

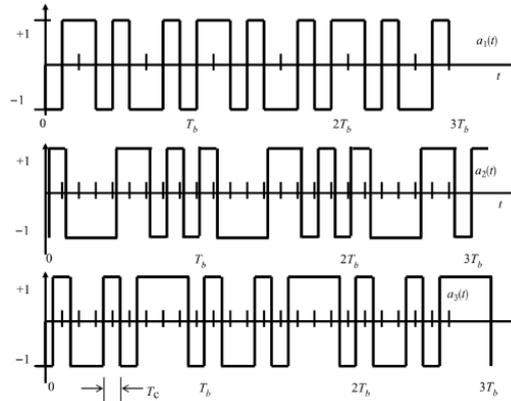
Code Division Multiple Access atau biasa disingkat CDMA merupakan teknik multipleks (*multiple akses*) yang memungkinkan akses jamak dengan membagi kanal tidak berdasarkan waktu dan frekuensi, melainkan dengan mengkodekan data dengan metode khusus secara orthogonal guna mensinergikan setiap kanal secara konstruktive interference.

Pada sistem CDMA, setiap kanal pengguna (*user*) menggunakan waktu dan frekuensi secara bersamaan. Oleh karena itu, digunakanlah kode yang unik pada setiap kanal pengguna. Kode unik ini juga dimanfaatkan sebagai pelebar sinyal. Kode unik ini disebut *Pseudo Random Noise* (PN Code) yang berisi deretan data berkecepatan tinggi dan bernilai polar (-1 & +1) atau non polar (0 & 1). Kesemuanya membentuk sandi unik yang saling orthogonal.

Pada CDMA, untuk jumlah pengguna yang tinggi, pada bidang frekuensi yang disediakan, memunculkan banyak sinyal dari pengguna sehingga mengakibatkan meningkatnya interferensi, yang tentu

saja dapat menurunkan unjuk kerja sistem. Kapasitas dan kualitas sistem dibatasi oleh daya interferensi yang timbul pada lebar bidang frekuensi yang digunakan.

Metode DSSS CDMA dapat digunakan pada pengguna jamak, dengan menyediakan kode spreading yang berbeda  $a_k(t)$  untuk masing-masing pengguna, dimana  $a_k(t)$  kode spreading pada user ke- $k$ . Sebagai contoh pada gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Ilustrasi DSSS CDMA

Oleh karena itu, didefinisikan bahwa :

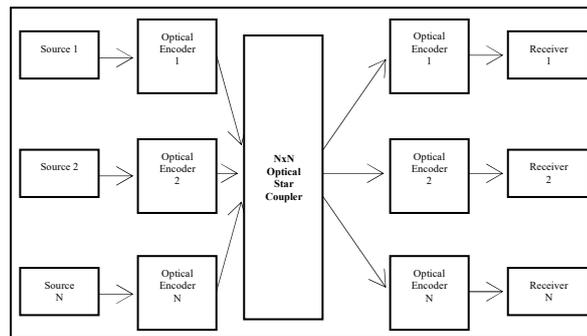
$$R_{i,k}[n] = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} a_i[m] a_k[m+n]$$

$$= \begin{cases} 1 & i = k, n = 0 \\ 0 & i \neq k \end{cases}$$

Dimana  $R_{ik}[n]$  merupakan cross-correlasi antara spreading sequence  $a_i$  dan  $a_k$  dengan offset relatif sequence adalah  $n$ .

**2.3. Optical CDMA**

Pada sistem Optical Code Division Multiple Access (CDMA), arsitektur sistem transmisi ditunjukkan pada Gambar 5 berikut ini.



Gamabr 5. Blok Diagram Sistem Optical CDMA

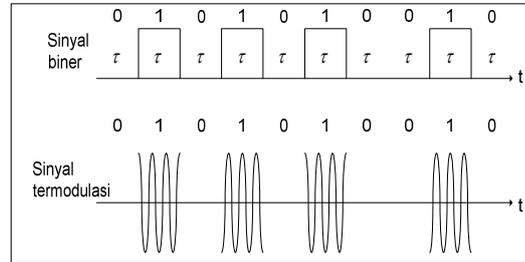
Gambar 5 merupakan diagram blok sistem jaringan CDMA Optik yang menggunakan konfigurasi pengkopelan bintang karena konfigurasi ini cenderung lebih sederhana dibandingkan dengan konfigurasi yang lain. Sumber data menuju encoder optik yang diarahkan ke penerima yang dituju menggunakan pengkopelan bintang.

**3. METODOLOGI PENELITIAN**

Pada penelitian ini, sistem modulasi yang digunakan adalah *On Off Keying* (OOK) dan *Pulse Position Modulation* (PPM)

### 3.1. On Off Keying (OOK) CDMA

Pada modulasi OOK – CDMA, dilakukan proses penyebaran kode kemudian ditambah kode-kode biner dari generator kode. Amplitudo gelombang pembawa dimodulasi secara digital bersama sinyal pemodulasi biner. Jika suatu urutan pulsa biner  $f(t)=1$  menghidupkan pembawa beramplitudo  $A$  maka  $f(t)=0$  akan mematikan pembawa.



Gambar 6. Sinyal Termodulasi OOK

Gambar 6 menunjukkan bahwa sinyal dimodulasi OOK akan bergantung pada urutan biner khusus yang ditransmisikan. Jika dinamakan suatu urutan tertentu sebagai 1 dan 0 sebagai  $f(t)$ .

Sementara itu, pada sistem BASK (*Binary Amplitude Shift Keyed*) digunakan dua simbol digital yaitu nol dan satu sebagai pulsa carrier sinusoida (frekuensi,  $f_c$ ) dengan dua amplitudo berbeda yakni  $A_0$  dan  $A_1$ . Pada kenyataannya, amplitudo  $A_0$  selalu dipilih nol dan dalam modulasi IF (Intermediate atau Radio Frequency) on-off keyed (OOK) yaitu:

$$f(t) = \begin{cases} A_1 \Pi(t/T_0) \cos 2\pi f_c t & \rightarrow \text{digital '1'} \\ 0 & \rightarrow \text{digital '0'} \end{cases} \quad (1)$$

$T_0$  didefinisikan sebagai durasi simbol dan  $\Pi$  adalah fungsi pulsa kotak. Tegangan sesaat,  $f(nT_0)$  pada keluaran filter OOK atau detektor korelasi adalah :

$$f(nT_0) = \begin{cases} kE & \rightarrow \text{digital '1'} \\ 0 & \rightarrow \text{digital '0'} \end{cases} \quad (2)$$

Jika  $E_1$  ( $V^2s$ ) adalah energi ternormalisasi dalam simbol 1 dan  $k$  mempunyai unit  $\text{Hz/V}$ , maka proses filter akhir identik dengan proses biner baseband, yang memberikan peluang kesalahan sebagai:

$$P_e = \frac{1}{2} \left[ 1 - \text{erf} \left( \frac{1}{2} \left( \frac{E_1}{N_0} \right)^{1/2} \right) \right] \quad (3)$$

Dengan bentuk rata-rata energi per simbol,  $E = (E_1 + E_0)/2$  dimana untuk OOK,  $E_0=0$ , maka:

$$P_e = \frac{1}{2} \left[ 1 - \text{erf} \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \left( \frac{E}{N_0} \right)^{1/2} \right) \right] \quad (4)$$

Jika persamaan (3) dan (4) dinyatakan dalam bentuk carrier to noise ( $C/N$ ) yang diterima menggunakan hubungan berikut :

$$\begin{aligned} C &= \langle E \rangle / T_0 \quad (V^2) \\ N &= N_0 B \quad (V^2) \\ \langle E \rangle / N_0 &= T_0 B \quad C / N \end{aligned} \quad (5)$$

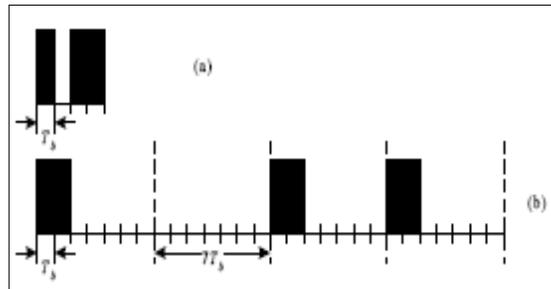
Dengan  $C$  adalah rata-rata daya carrier yang diterima selama periode semua simbol dan  $N$  adalah normalisasi daya derau dalam bandwidth  $B$  Hz. Ini memberi persamaan :

$$P_e = \frac{1}{2} \left[ 1 - \text{erf} \left( \frac{(T_0 B)^{1/2}}{\sqrt{2}} \left( \frac{C}{N} \right)^{1/2} \right) \right] \quad (6)$$

OOK – CDMA pada awalnya digunakan untuk sistem-sistem komunikasi fiber optik pengguna  $N$  dengan menggunakan OOC ( $n, w, \lambda_a, \lambda_c$ ) sebagai rangkaian kode PN dimana  $n$  adalah panjang rangkaian Unjuk Kerja On Off Keying Dan Pulse Position Modulation Pada Jaringan Optical Wireless CDMA (Devi Rahmayanti)

bobot  $w$  dan  $\lambda_a, \lambda_c$  adalah batasan-batasan auto-korelasi dan korelasi silang.  $\lambda_a, \lambda_c$  yang umumnya ditetapkan sama dengan 1 untuk mencapai performa tingkat kesalahan bit (BER) optimum. Rangkaian kode Pseudo Noise  $C$  untuk pengguna pertama dapat dipresentasikan dalam format biner sebagai  $(a_1^i, a_2^i, \dots, a_n^i)$

dengan  $i = 1, 2, \dots, N$  dan  $a_j^i \in (0,1)$  merupakan pola-pola biner dalam  $j$  yang mencirikan karakter  $C^i$ . Jumlah  $a_j^i = 1$  adalah sama dengan  $w$ . Dengan catatan bahwa  $a_j^i$  selalu sama dengan 1 dalam rangka menginisiasi urutan awal  $C^i$ . Bentuk transmisi pulsa dengan sistem On Off Keyed (OOK) dan OOK-CDMA ditunjukkan pada gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Bentuk sinyal termodulasi OOK (a) dan OOK CDMA (b)

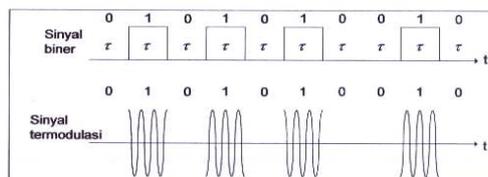
Probabilitas bit error rate ( $P_b$ ) atau Bit Error Rate (BER) yang distandarisasi oleh sistem OOK-CDMA dirumuskan sebagai berikut:

$$P_b = \frac{1}{2}(P_r) + (1 - P_r) \quad (7)$$

Dimana  $P_r$  didefinisikan sebagai Probabilitas rate yang berarti  $P_r = \left(1 - \frac{w}{2n}\right)^{N-1}$ ;  $P_b$  : probabilitas bit error,  $N$  merupakan jumlah user dan  $w$  adalah bobot kode dan  $n$  sebagai panjang kode.

### 3.2. Pulse Position Modulation (PPM) CDMA

Dalam PPM parameter yang dimodulasi digital adalah amplitudo gelombang pembawa dan sinyal pemodulasi biner. Andaikan suatu urutan pulsa biner  $f(t) = 1$  menghidupkan pembawa beramplitudo  $A$  maka  $f(t) = 0$  akan mematikan pembawa.



Gambar 8. Bentuk Sinyal Termodulasi PPM

Gambar 8 menunjukkan bahwa sinyal dimodulasi PPM akan bergantung pada urutan biner khusus yang ditransmisikan, dengan suatu urutan tertentu 1 dan 0 sebagai  $f(t)$ . Dalam sistem Binary Amplitude Shift Keyed (BASK) dua simbol digital, nol dan satu dinyatakan dengan pulsa carrier sinusoida (frekuensi,  $f_c$ ) dengan dua amplitudo berbeda yakni  $A_0$  dan  $A_1$ . Sementara itu, pada kenyataannya, satu dari amplitudo  $A_0$  selalu dipilih nol dalam modulasi IF (Intermediate atau Radio Frequency) Pulse Position Modulation (PPM) yaitu:

$$f(t) = \begin{cases} A_1 \Pi(t/T_0) \cos 2\pi f_c t \rightarrow \text{digital '1'} \\ 0 \rightarrow \text{digital '0'} \end{cases} \quad (8)$$

Dengan  $T_0$  didefinisikan sebagai durasi simbol dan  $\Pi$  adalah fungsi pulsa kotak. Maka  $f(nT_0)$  merupakan tegangan sesaat pada keluaran filter PPM atau detektor korelasi yang didapatkan dengan cara :

$$f(nT_0) = \begin{cases} kE_1 \rightarrow \text{digital '1'} \\ 0 \rightarrow \text{digital '0'} \end{cases} \quad (9)$$

dengan  $E_1$  ( $V^2_s$ ) adalah energi ternormalisasi dalam simbol 1 dan  $k$  dalam unit Hz/V, dengan demikian daya derau ternormalisasi,  $\sigma^2$  ( $V^2$ ) pada keluaran detektor adalah:

$$\sigma^2 = k^2 E_1 N_0 / 2 \quad (10)$$

dengan  $N_0$  ( $V^2/\text{Hz}$ ) adalah normalisasi kerapatan spektrum daya derau satu sisi pada masukkan korelator atau filter matched. Sehingga proses filter akhir identik dengan proses biner baseband, dan memberikan peluang kesalahan:

$$P_e = \frac{1}{2} \left[ 1 - \text{erf} \frac{1}{2} \left( \frac{E}{N_0} \right)^{1/2} \right] \quad (11)$$

Pada mulanya, PPM – CDMA digunakan pada sistem komunikasi serat optik dengan pengguna  $N$  yang didefinisikan sebagai PPM ( $n, w, \lambda_a, \lambda_c$ ) berupa rangkaian kode PN dengan ketentuan  $n$  = panjang rangkaian bobot  $w$  dan  $\lambda_a, \lambda_c$  = batasan-batasan auto-korelasi dan korelasi silang. Untuk mencapai unjuk kerja dan performa optimum,  $\lambda_a, \lambda_c$  biasanya ditetapkan bernilai 1. Dengan demikian, rangkaian kode PN  $C$  untuk pengguna pertama dapat dipresentasikan dalam format biner sebagai dalam bentuk  $(a_1^i, a_2^i, \dots, a_n^i)$ , dimana  $i = 1, 2, \dots, N$  dan  $a_j^i \in (0,1)$  adalah pola-pola biner dalam  $j$  yang mencirikan karakter  $C^i$ .

Jumlah  $a_j^i = 1$  adalah sama dengan  $w$ . Dan  $a_j^i$  selalu sama dengan 1 dalam rangka menginisial urutan awal  $C^i$ . Untuk menghitung faktor peningkatan kecepatan bit BEF pada PPM CDMA dapat dipergunakan Persamaan berikut :

$$BEF_{PPM} = \frac{2^M + n - 1}{nM} \quad (12)$$

Dengan :

$$2^M = n \rightarrow M = \frac{\log n}{\log 2} \quad M = \text{jumlah bita data} \quad (13)$$

Lebar bandwidth yang digunakan dalam komunikasi wireless optik PPM-CDMA memenuhi persamaan berikut :

$$W = \frac{2^M R_b}{M} \quad (14)$$

dimana  $W$  = Bandwidth (Hz) sedangkan  $R_b$  adalah data bit rate per user (bps)

### 3.3. Bit Error Rate (BER)

Dalam sistem transmisi telekomunikasi, Bit Error Rate (BER) atau biasa disebut probabilitas kesalahan merupakan prosentase dari bit yang memiliki kesalahan terkait dengan jumlah total bit yang diterima dalam sebuah transmisi. Tingkat BER menunjukkan beberapa kali sebuah paket atau unit data lain harus ditransmisikan ulang karena adanya kesalahan atau error.

Tingginya tingkat kesalahan bit (BER) dapat ditunjukkan melalui kondisi dimana waktu transmisi yang digunakan untuk mengirimkan sejumlah data semakin melambat. Jika pada kanal yang dilewati sinyal data tidak terdapat gangguan, ditambah kekuatan sinyal yang baik, maka kemungkinan timbulnya kesalahan semakin kecil. Namun, jika rasio sinyal ingin dipertahankan meski adanya kegaduhan dalam saluran, maka timbulnya kesalahan atau error ini akan semakin meningkat. Antara lain disebabkan adanya transmisi tidak sempurna melalui sirkuit elektronik seperti amplifier, filter, mixers, analog atau digital converter serta media penghantar (misalnya jalur radio atau fiber optik).

*Bit Error Rate* dapat didefinisikan dalam term-term probabilitas error ( $P_b$ ) sebagai berikut :

$$P_b = \frac{1}{2} (1 - \text{erf}) \sqrt{E_b / N_0} \quad (15)$$

Sementara itu, erf didefinisikan sebagai fungsi error,  $E_b$  sebagai energi dalam satu bit, dan  $N_0$  merupakan densitas spektral noise.

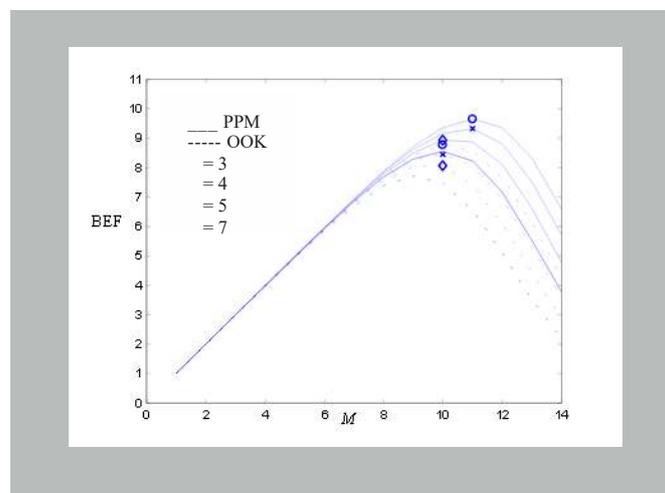
Fungsi kesalahan akan berbeda untuk tiap metode modulasi. Yang terpenting untuk lebih diperhatikan adalah bahwa  $P_b$  cukup proporsional dengan  $E_b/N_o$ , yang merupakan sebuah bentuk dari rasio sinyal dengan noise (suara gaduh). Energi per bit,  $E_b$  dapat ditentukan dengan membagi kekuatan pembawa oleh bit rate. Sebagai sebuah ukuran energi,  $E_b$  memiliki unit joules.  $N_o$  adalah daya (joule per detik) per Hz (detik), sehingga  $E_b/N_o$  merupakan sebuah term tanpa dimensi atau hanya merupakan sebuah rasio numerik.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mensimulasikan hasil perencanaan guna memudahkan proses analisis, penelitian ini menggunakan software program MatLab versi 9.6, dimana platform pemrograman ini menggunakan bahasa berbasis matriks sehingga dapat digunakan untuk menganalisis data, membuat algoritma, serta menciptakan pemodelan dan aplikasi terutama dalam bidang teknik.

##### 4.1. Faktor Peningkatan Kecepatan Bit (BEF)

Unjuk kerja faktor peningkatan kecepatan bit (BEF) pada OOK CDMA dan PPM CDMA ditunjukkan dalam gambar 9 berikut.



Gambar 9. Pengaruh peningkatan bit data terhadap nilai  $BEF_{PPM}$  dan  $BEF_{OOK}$  dengan jumlah pengguna yang bervariasi.

Gambar 9 menunjukkan perubahan nilai  $BEF_{PPM}$  dan  $BEF_{OOK}$  sesuai dengan meningkatnya jumlah user. Dengan peningkatan jumlah user maka terjadi penurunan faktor peningkatan kecepatan transmisi. Pada saat user masih berada pada jumlah dibawah 10 terjadi penurunan secara tajam, setelah itu barulah penurunan terjadi secara perlahan. Penurunan nilai BEF ini juga dipengaruhi oleh peningkatan panjang kode ( $n$ ) dan data bit ( $M$ ) yang ikut meningkat seiring peningkatan jumlah user. Dimana meningkatnya jumlah user menyebabkan peningkatan data bit ( $M$ ) yang dibutuhkan untuk berkomunikasi.

Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 9 tersebut, BEF untuk PPM meningkat dan mencapai maksimum pada  $M = 10$  untuk jumlah user  $n = 4229, 5638$  dan  $7249$ . Namun, pada OOK penurunan tajam terjadi saat  $M > 7$  bit. Peningkatan  $n$  juga akan meningkatkan BEF tetapi akan mengakibatkan penurunan tingkat urutan  $R_{PPM}$ . Baik OOK-CDMA maupun PPM-CDMA memiliki skema dengan panjang frame tetap sehingga membutuhkan sinkronisasi frame.

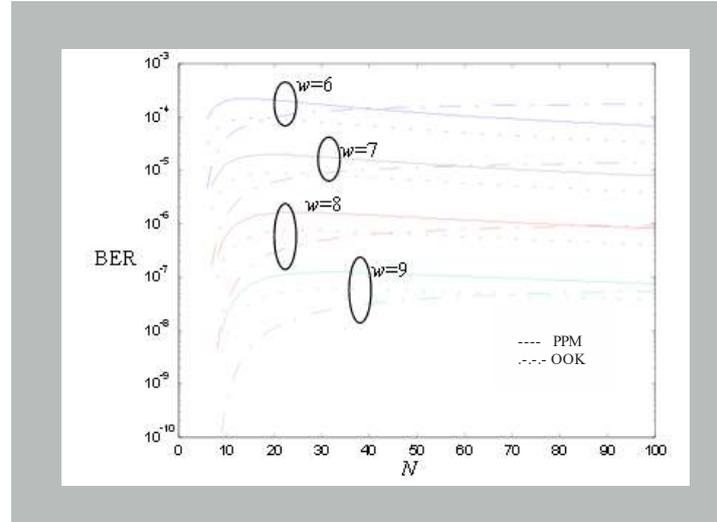
##### 4.2. Bit Error Rate (BER)

BER (Bit Error Rate) atau disebut juga Error Probability adalah tingkat kesalahan yang terjadi pada saat data diterima oleh receiver, yang dapat disebabkan oleh interferensi. Tingkat kesalahan bit (Bit Error Rate) dalam OOK-CDMA dan PPM-CDMA dapat dilihat lebih jelas pada hasil simulasi pada Gambar 10.

Gambar 10 menunjukkan bahwa peningkatan jumlah user akan menyebabkan probabilitas error/ bit error rate (BER) akan semakin besar. Hal ini juga disebabkan karena peningkatan panjang kode transmisi dan bobot kode yang terus bertambah yang mengakibatkan penurunan faktor peningkatan kecepatan bit (BEF).

Namun demikian, tingkat kesalahan bit yang terjadi pada PPM CDMA lebih rendah dibandingkan dengan OOK CDMA. Hal ini disebabkan adanya time slot kosong pada sistem On Off Keying (OOK). Hal ini juga disebabkan karena peningkatan panjang kode transmisi dan bobot kode yang terus bertambah dan

mengakibatkan penurunan faktor peningkatan kecepatan bit ( $BEF_{OOK}$ ). Dimana telah diketahui bersama bahwa peningkatan jumlah user akan menyebabkan probabilitas kesalahan ( $BER_{OOK}$ ) yang semakin meningkat.



Gambar 10. Peningkatan Jumlah Pengguna Terhadap Nilai  $BER_{PPM}$  dan  $BER_{OOK}$  dengan variasi nilai  $w$  dengan bit data  $M = 5$  bit

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan simulasi dan hasil analisis terhadap jaringan optical wireless dengan menggunakan metode OOK CDMA dan PPM CDMA, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Jika bandwidth yang digunakan semakin bertambah dapat meningkatkan probabilitas error terhadap data yang ditransmisikan. Artinya, semakin banyak user dapat menyebabkan peningkatan terhadap Bit Error Rate.
2. Pada modulasi OOK CDMA, data biner yang dikodekan menempati time slot yang jumlahnya sama dengan jumlah kode. Sementara pada PPM CDMA data biner yang dikodekan ditempatkan pada time slot yang lebih lebar daripada jumlah kodenya, sementara time slot yang kosong akan ditempati oleh data dari user yang lainnya. Hal ini yang membuat modulasi PPM CDMA memberikan performansi BER dan efisiensi penggunaan kanal yang lebih baik daripada modulasi OOK CDMA.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ghassemlooy, Z and Popoola, W. *Optical Wireless Communications System and Channel Modelling with MatLab*. Inggris : Taylor & Francis Group, 2013.
- [2] R. Michael Buehrer. *Code Division Multiple Access (CDMA)*. Inggris : Springer International Publishing. 2022, 30.
- [3] Don Torrieri. *Principles of Spread-Spectrum Communication Systems*. Inggris : Springer International Publishing. 2022, 596.
- [4] Amoakoh Gyasi-agyei. *Telecommunications Engineering: Principles And Practice*. Inggris : World Scientific Publishing Company, 2019, 358.
- [5] Geoff Lewis. *Communications Technology Handbook*. Inggris : Taylor & Francis, 2013, 212
- [6] Md Jahid Hasan, et. al. "Performance Analysis of Optical-CDMA for Uplink Transmission in Medical Extra-WBANs." *IEEE Access*, Volume 8, Sep 2020, Pages 171672-171685, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3025005>.
- [7] Assistant professor, KSR INSTITUTE FOR ENGINEERING AND TECHNOLOGY. "Comparative Analysis of OOK, BPSK, DPSK and PPM Modulation Techniques for Intersatellite Free-Space Optical Communication". *International Research Journal of Engineering and Technology*, Volume 06, Feb 2019, Pages 1995 – 1998.