

## ANALISIS UNJUK KERJA SISTEM OPTICAL PULSE POSITION-MODULATION (PPM)CDMA DENGAN PENGKODEAN TURBO CODE

Emilia Margaretha<sup>1</sup>, Hadi Suwastio Mphii .phd.ir ; Erna Sri Sugesti Ir Msc<sup>2, 3</sup>

<sup>1</sup>Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

---

**Abstrak**

**Kata Kunci :**

---

**Abstract**

**Keywords :**

---



Telkom  
University

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Teknologi telekomunikasi saat ini telah mengalami perkembangan yang cukup pesat di mana informasi yang disampaikan dapat tiba dalam waktu yang singkat dengan tingkat kesalahan yang cukup kecil. Berbagai teknik dalam metoda akses, *multiplexing*, modulasi, *error-control coding*, dan lainnya telah banyak dikembangkan sebagai upaya peningkatan performansi dan layanan

*Optical code-division multiple-access* (CDMA) telah menarik banyak perhatian oleh karena berbagai kelebihan yang ditawarkan seperti *bandwidth* lebar dan kecepatan pemrosesan sinyal optik yang tinggi <sup>[3],[5],[9],[12],[14],[16],[17]</sup>. *Optical* CDMA memanfaatkan domain waktu-frekuensi secara keseluruhan oleh tiap *user*, memiliki protokol komunikasi yang sederhana, tidak memerlukan sinkronisasi waktu dan manajemen frekuensi, dan perancangan jaringan yang fleksibel <sup>[7]</sup>.

*Pulse position modulation* (PPM) adalah suatu teknik modulasi yang umumnya digunakan pada komunikasi optik *intensity modulated/direct detection* (IM/DD) dan menawarkan efisiensi daya yang baik serta digunakan dalam banyak aplikasi <sup>[8],[15],[16]</sup>. Dalam pensinyalan *M*-ary PPM, pulsa ditransmisikan pada satu dari *M slot* dalam suatu *frame* PPM untuk merepresentasikan data. Oleh karena itu dihasilkan suatu trafik kanal yang rendah dibandingkan dengan pensinyalan *on-off keying* (OOK) dalam hal banyaknya pulsa yang ditransmisikan. Kelebihan lain dari PPM adalah tidak diperlukannya suatu ambang batas (*threshold*) pada skema deteksi.

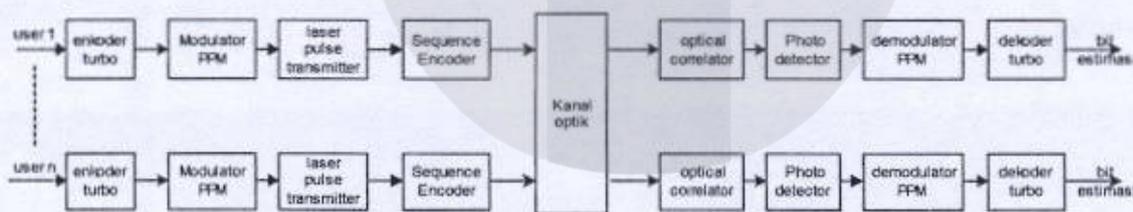
Degradasi performansi dari sistem *optical* CDMA terjadi akibat interferensi akses jamak. Tipe interferensi ini dihasilkan dari orthogonalitas-tak-lengkap dari kode pengenalan / *signature code* yang dipakai. Untuk meningkatkan performansi sistem *optical* CDMA dengan adanya interferensi *multi-user*, beberapa peneliti telah menerapkan suatu *error-correcting code* seperti *convolutional codes*, *Reed Solomon codes*, dan *BCH codes* <sup>[19]</sup>. Dengan teknik ini, diharapkan diperoleh sistem yang lebih baik di mana peluang terjadinya kesalahan bit yang diterima lebih kecil, untuk daya kirim yang sama dibandingkan dengan sistem yang tanpa pengkodean.

Akhir-akhir ini *turbo code* atau biasa disebut juga dengan *parallel concatenated convolutional coding* (PCCC) telah menarik banyak perhatian karena performansi koreksi

kesalahannya yang sangat baik dan kompleksitas pengkodeannya yang memungkinkan. Hal ini membuat *turbo code* ideal untuk berbagai aplikasi komunikasi dengan daya dan energi yang terbatas <sup>[15]</sup>. *Turbo code* adalah suatu teknik pengkodean di mana bagian enkoder terdiri atas enkoder konvolusi rekursif identik yang dipisahkan oleh *interleaver* yang berbeda-beda dan bit – bit keluaran disusun secara paralel. Dekoder turbo terdiri atas dekode-dekode yang sesuai dengan suatu *de-interleaver* di antaranya dan menjalankan proses dekode iterasi. Menurut hasil penelitian terdahulu, *turbo code* menghasilkan *coding gain* yang tinggi untuk sistem CDMA pada kanal AWGN dan kanal *wireless* <sup>[12]</sup>.

### 1.2 RUMUSAN MASALAH

Pada sistem *optical* PPM-CDMA dengan pengkodean *Turbo Code* yang terlihat pada gambar 1.1, aliran bit informasi dikodekan pada suatu enkoder turbo dan dikelompokkan menurut orde PPM kemudian dilewatkan ke modulator PPM sehingga menghasilkan suatu simbol data. Simbol data tersebut memodulasi posisi pulsa laser pada salah satu *slot* dalam satu *frame* PPM dan laser diemisikan pada posisi *chip* pertama dalam *slot* tersebut. Sinyal laser disebarkan pada posisi-posisi *chip* yang sesuai dengan *signature code* yang ditetapkan oleh *sequence encoder* dan kemudian ditransmisikan melalui kanal optik ke tujuan yang diinginkan.



Gambar 1.1 Sistem *optical* CDMA menggunakan enkoder dan dekoder turbo <sup>[15]</sup>

Sinyal yang diterima diproses dalam sebuah *optical correlator*. Keluaran *optical correlator* kemudian dikonversikan menjadi sinyal elektrik oleh sebuah *photodetector*. Pada demodulator PPM, *slot* dengan *output* tertinggi diseleksi sebagai simbol yang ditransmisikan kemudian dilewatkan ke dekoder turbo untuk menghasilkan estimasi data yang dikirimkan.

Penerapan teknik akses jamak CDMA atau teknik *error-correcting code* akan mengakibatkan peningkatan penggunaan *bandwidth* dalam suatu sistem komunikasi. Jika kedua teknik ini digunakan secara simultan dalam suatu sistem komunikasi yang memiliki

*bandwidth* konstan dan *data rate* yang tetap, maka ada suatu *tradeoff* antara berapa banyak *bandwidth* yang dipakai oleh teknik akses jamak CDMA atau teknik *error-correcting code*, sehingga sistem mencapai performansi yang optimal. Peningkatan performansi dengan penggunaan *code rate* yang semakin rendah pada *error-correcting code*, dalam hal ini *turbo code*, sehingga meningkatkan penggunaan *bandwidth*, diikuti pula oleh meningkatnya kompleksitas pengkodean. Oleh karena itu dipilih *turbo code* dengan *code rate* tetap yang tinggi, yaitu *rate 1/3*, dengan kode konvolusi rekursif *rate 1/2*.

Sistem optical CDMA *direct-detection* memerlukan urutan kode / *code sequences* bernilai {0,1} dengan sifat korelasi yang baik ; korelasi silang / *cross correlation* yang rendah antar urutan kode tersebut diperlukan untuk menghasilkan interferensi *multi-user* yang rendah. *Optical Orthogonal Code* (OOC) adalah suatu keluarga dari deretan (0,1) dengan properti korelasi sendiri dan korelasi silang yang baik. Penggunaan OOC sebagai *signature code* memungkinkan sejumlah besar *user* mentransmisikan informasi secara efisien<sup>[3]</sup>.

Pendeteksian sinyal optik yang lemah dibatasi oleh faktor adanya *thermal noise* tambahan yang dibangkitkan oleh resistor-resistor pada rangkaian elektrik penerima. *Avalanche Photodiode* (APD) dengan *gain* internal mengalikan sinyal arus foton primer sebelum sinyal tersebut memasuki rangkaian penguat setelahnya sehingga memiliki responsivitas yang lebih besar dan lebih sensitif terhadap foton yang datang dibandingkan dengan detektor dioda *p-i-n* dengan *gain* konstan (=1). Namun demikian, keluaran APD memiliki *probability density function* (pdf) yang sangat rumit. Suatu pendekatan yang lebih sederhana namun memiliki hasil yang baik adalah pendekatan *Gaussian*.

### 1.3 BATASAN MASALAH

Tugas Akhir ini akan dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

1. Turbo code yang digunakan memiliki *code rate 1/3* dengan kode konvolusi rekursif *rate 1/2* karena memiliki performansi yang baik dan pemakaian *bandwidth* yang efisien.
2. *Signature code* yang ditetapkan bagi tiap *user* adalah OOC (*Optical Orthogonal Code*) karena memiliki properti korelasi sendiri dan korelasi silang yang baik.
3. Pada penerima dipakai detektor APD (*Avalanche Photodiode*) sebagai *photodetector* karena memiliki responsivitas yang besar dan sensitifitas yang

tinggi terhadap sinyal yang datang. Keluaran APD dimodelkan dengan pendekatan Gaussian untuk menyederhanakan perhitungan.

4. Performansi sistem *optical* PPM-CDMA dengan pengkodean *Turbo Code* dievaluasi dengan suatu perhitungan numerik terhadap probabilitas *error* bit sistem dan berdasarkan data yang diperoleh dari referensi.

#### 1.4 TUJUAN TUGAS AKHIR

Adapun Tugas Akhir ini bertujuan untuk :

1. Memperbandingkan sistem *optical* PPM-CDMA dengan dan tanpa kode turbo untuk mengamati performansi sistem.
2. Menganalisa performansi sistem *optical* PPM-CDMA dengan berbagai pengaruh perubahan parameter pada sistem tersebut.
3. Memperbandingkan sistem *optical* CDMA dengan modulasi *Pulse-Position-Modulation* (PPM) dan sistem dengan modulasi *On-Off Keying* (OOK) untuk mengamati performansi sistem.

#### 1.5 METODE PENELITIAN

Langkah-langkah yang ditempuh dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur dari berbagai sumber yang berkaitan dengan masalah yang dibahas meliputi konfigurasi sistem dan cara kerja sistem serta hal-hal lain yang berkaitan dengan itu.
2. Pemodelan sistem yaitu memodelkan sistem berdasarkan pada konsep teorinya.
3. Visualisasi hasil perhitungan numerik menggunakan alat bantu bahasa pemrograman MATLAB
4. Mengamati dan menganalisa hasil perhitungan dan data dari sumber referensi untuk meneliti performansi sistem.

#### 1.6 SISTEMATIKA PEMBAHASAN

Bab I membahas mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian, dan sistematika pembahasan dalam Tugas Akhir ini.

---

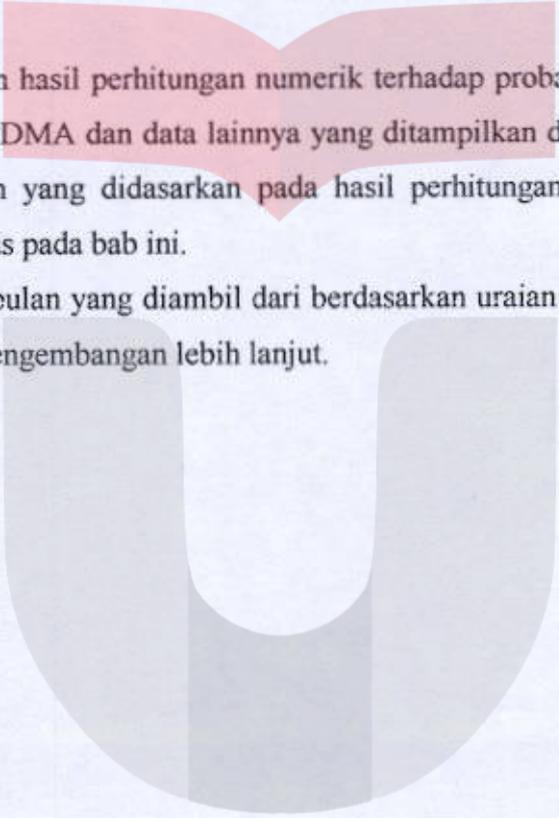
Analisa Unjuk Kerja Sistem *Optical Pulse-Position-Modulation* (PPM) CDMA Dengan Pengkodean *Turbo Code*

Bab II menguraikan teori-teori yang mendukung dan berkaitan dengan sistem *turbo coded optical* CDMA dengan modulasi PPM. Pada bab ini dijelaskan proses yang terjadi pada enkoder dan dekoder turbo, modulasi PPM, teori mengenai OOC, APD, dan teori pendukung lainnya yang berguna dalam penelitian ini.

Bab III membahas model sistem *turbo coded optical* PPM-CDMA. Bab ini juga membahas mengenai penurunan probabilitas *error* sistem *turbo coded optical* PPM-CDMA.

Bab IV memaparkan hasil perhitungan numerik terhadap probabilitas *error* sistem *turbo coded optical* PPM-CDMA dan data lainnya yang ditampilkan dalam bentuk grafik. Analisa performansi sistem yang didasarkan pada hasil perhitungan numerik dan data lainnya tersebut juga dibahas pada bab ini.

Bab V berisi kesimpulan yang diambil dari berdasarkan uraian dalam Tugas Akhir ini dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut.



Telkom  
University

## BAB V PENUTUP

### 5.1 KESIMPULAN

1. Sistem *optical* PPM-CDMA dengan pengkodean *Turbo Code* menghasilkan *coding gain* yang cukup tinggi terhadap sistem tanpa pengkodean, yaitu sekitar 4,34 dB, dengan *Turbo Code rate* 1/3 dan sistem dioperasikan pada BER  $10^{-9}$ .
2. Performansi BER sistem *optical* PPM-CDMA meningkat ketika daya laser yang diterima semakin besar. Perbedaan orde modulasi *M*-ary PPM menghasilkan performansi sistem yang berbeda pula yaitu semakin besar nilai *M* maka performansi sistem menjadi lebih baik. Peningkatan performansi ini juga berhubungan dengan efisiensi energi yang dipakai karena foton yang dikirim per bit informasi menurun ketika *M* bertambah.
3. Sistem *optical* CDMA dengan PPM lebih efisien dibandingkan dengan sistem *optical* OOK - CDMA dalam hal pengiriman pulsa laser. Perbandingannya adalah untuk pengiriman lima bit informasi, sistem dengan 32-ary PPM hanya mengirimkan satu kali bobot kode OOC sementara sistem dengan OOK memerlukan satu sampai dengan lima kali bobot kode OOC.
4. Sistem *optical* PPM- CDMA orde terkecil memerlukan daya laser yang diterima sekitar 2 dBW lebih kecil untuk menghasilkan performansi BER yang sama dengan sistem *optical* OOK-CDMA sehingga dapat dikatakan bahwa performansi sistem dengan PPM lebih baik.
5. Dalam pemakaian OOC sebagai *signature code* pada sistem *optical* CDMA, performansi sistem meningkat ketika bobot kode yang dipakai semakin besar untuk suatu panjang kode OOC dan jumlah user yang tetap. Penurunan performansi sistem terjadi ketika jumlah user yang diakomodasi semakin besar.
6. Peningkatan performansi terjadi ketika sistem dioperasikan dengan *gain* APD rata-rata optimum, yaitu adanya penurunan kebutuhan akan daya laser yang diterima sekitar 0,21 dBW sampai 2,15 dBW pada BER =  $10^{-9}$ .

## 5.2 SARAN

1. Pengujian terhadap performansi sistem *optical* PPM-CDMA dengan pengkodean *Turbo Code* dapat dikembangkan dengan melakukan simulasi terhadap sistem tersebut.
2. Pengembangan pengujian terhadap sistem *optical* PPM-CDMA dengan penggunaan *Walsh Code* dan *Orthogonal Gold* sebagai *signature code* serta evaluasi terhadap *processing gain* pada system.
3. Pengembangan pengujian terhadap sistem *optical* PPM-CDMA dengan *Convolutional Code* yang memiliki coding gain lebih rendah namun efisien dalam penggunaan *bandwidth* pada kanal transmisi.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Divsalar and F. Pollara, "*Turbo Codes for Deep-Space Communications*," the Telecommunications and Data Acquisition Progr. Rep. 42 – 120, Jet Propulsion Lab., Pasadena, California, pp. 29 – 39, February 15, 1995.
- [2] D. Divsalar, S. Dolinar, F. Pollara, and R. J. McEliece, "*Transfer Function Bounds on the Performance of Turbo Codes*," The Telecommunications and Data Acquisition Progr. Rep. 42 – 122, Jet Propulsion Lab., Pasadena, California, pp. 44 – 55, August 15, 1995.
- [3] F. R. K. Chung, J. A. Salehi, and V. K. Wei, "*Optical Orthogonal Codes : Design, Analysis, and Applications*," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 35, no. 3, pp. 595 – 604, May 1989.
- [4] F. M. Davidson and X. Sun, "*Gaussian Approximation Versus Nearly Exact Performance Analysis of Optical Communication Systems with PPM Signaling and APD Receivers*," IEEE Transactions on Communications, vol. 36, no. 11, November 1988.
- [5] G. Keiser, "*Optical Fiber Communications*," McGraw-Hill International Editions, Electrical Engineering Series, Third Edition, Singapore, 2000.
- [6] H. M. H. Shalaby, "*A Comparison between the Performance of Number-State and Coherent State Optical CDMA in Lossy Photon Channels*," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 13, no. 3, pp. 592 – 602, April 1995.
- [7] H. M. H. Shalaby, "*A Performance Analysis of Optical Overlapping PPM-CDMA Communication Systems*," IEEE Journal of Lightwave Technology, vol. 17, no. 3, March 1999.
- [8] H. M. H. Shalaby, "*Performance Analysis of Optical Synchronous CDMA Communication Systems with PPM Signaling*," IEEE Transactions on Communications, vol. 43, no. 2/3/4, February/ March/April 1995.
- [9] H. M. Kwon, "*Optical Orthogonal Code-Division Multiple-Access System – Part I: APD Noise and Thermal Noise*," IEEE Transactions in Communications, vol. 42, no.7, pp. 2470 – 2479, July 1994.

- [10] J. B. Abshire, "Performance of OOK and Low Order PPM Modulations in Optical Communications When Using APD-Based Receivers," IEEE Transactions on Communications, vol. Com-32, No. 10, October 1984.
- [11] J. Hamkins, "The Capacity of Avalanche Photodiode-Detected Pulse-Position Modulation," The Telecommunications and Mission Operations Progr. Rep. 42 – 138 Jet Propulsion Lab., Pasadena, California, pp. 1 – 19, August 15, 1999.
- [12] J. Y. Kim, "Performance of an Optical CDMA System with Turbo Code," 1999 IEEE Radio and Wireless Conference, Denver Marriott Southeast, Denver, Colorado, August 1 – 4, 1999.
- [13] J. G. Proakis, "Digital Communications," McGraw-Hill International Editions, Electrical Engineering Series, Third Edition, Singapore, 1995.
- [14] J. H. Wu and J. Wu, "Synchronous Fiber-Optic CDMA Using Hard-Limiter and BCH Codes," IEEE Journal of Lightwave Technology, vol. 13, no. 6, pp 1169 – 1176, June 1995.
- [15] K. Kiasaleh, "Turbo-Coded Optical PPM Communication Systems," IEEE Journal of Lightwave Technology, vol. 16, no. 1, pp. 18 – 26, January 1998.
- [16] K. Kamakura, T. Ohtsuki, and I. Sasase, "Optical Spread Time CDMA Communication Systems with PPM Signaling," IEICE Transactions on Communications, vol. E82-B, no. 7, pp. 1038 – 1047, July 1999.
- [17] M. Srinivasan and V. Vlnrotter, "Performance of the Optimum Receiver for Pulse-Position Modulation Signals With Avalanche Photodiode Statistics," The Telecommunications and Mission Operations Progr. Rep. 42 – 133 Jet Propulsion Lab., Pasadena, California, pp. 1 – 10, May 15, 1998.
- [18] M. Srinivasan and V. Vlnrotter, "Symbol-Error Probabilities for Pulse-Position Modulation Signaling With an Avalanche Photodiode Receiver and Gaussian Thermal Noise," The Telecommunications and Mission Operations Progr. Rep. 42 – 134, Jet Propulsion Lab., Pasadena, California, pp. 1 – 11, August 15, 1998.
- [19] T. Ohtsuki and J. M. Kahn, "BER Performance of Turbo-Coded PPM CDMA Systems on Optical Fiber," IEEE Journal of Lightwave Technology, vol. 18 no. 12, pp. 1776 – 1784, December 2000.

---

Analisa Unjuk Kerja Sistem *Optical Pulse-Position-Modulation* (PPM) CDMA Dengan Pengkodean *Turbo Code*