Kinerja Berbagai Modulasi pada Kanal Optik Nir Kabel

Dwi Astharini, Ary Mayola, Octarina Nur Samijayani, Ary Syahriar

Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Al Azhar Indonesia

Jl. Sisingamangaraja, Jakarta 12110

 astharini@uai.ac.id

***Abstract***

*Free space optical transmission with its data speed has many potential in close range especially indoor communication. This paper compared the performance of FSO transmission on a number of modulation schemes. The observations are mainly made by comparing the bit error rate result for each scheme. Atmospheric turbulence and noise are introduced to the transmission channel in the form of log normal model on simulation. The basic modulations simulated are on-off keying as the classical techniue for FSO, and its spatial variation, the pulse position modulation. Exploring the baseband modulations for optic application, also implemented are the PSK of 2, 4, 8, 16, and QAM of 4 and 16. Simulation with short data-length resulted that BPSK dan 4-QAM gave best performance among all, with average BER of 10-3 in medium to high turbulence condition. While the error level of OOK and PPM are 10-0.5 at best.*

Keywords: *FSO, OOK, PPM, PSK, QAM*

**Abstrak**

Transmisi optik nir kabel dengan kecepatan tinggi memiliki berbagai potensi untuk aplikasi jarak pendek terutama untuk komunikasi di dalam ruangan. Tulisan ini memaparkan perbandingan kinerja transmisi FSO menggunakan beberapa variasi skema modulasi. Pengamatan unjuk kinerja terutama dilakukan menggunakan bit error rate. Gangguan turbulensi atmorferik menjadi bagian dari pemodelan kanal log normal yang digunakan dalam simulasi. Modulasi dasar spasial yang digunakan adalah on-off keying sebagai teknik klasik FSO, beserta pulse position modulation yang merupakanvariasi spasialnya. Menelaah penggunaan modulasi baseband untuk sistem optik, disimulasikan PSK 2, 4, 8, 16, serta QAM 4 dan 16. Simulasi dengan data ukuran kecil menghasilkan bahwa BPSK dan 4 QAM menunjukkan unjuk kerja terbaik dengan BER rata-rata sekitar 10-3 pada kondisi gangguan sedang sampai tinggi. Sementara tingkat error pada OOK dan PPM masih di atas 10-0.5.

**Kata kunci:** FSO, OOK, PPM, PSK, QAM

# Pendahuluan

Komunikasi optik nir kabel atau free space optic (FSO) telah mendapat perhatian yang semakin meluas karena beberapa kelebihannya terutama kecepatan tinggi dibandingkan gelombang radio dan penggunaan spektrum secara bebas. Penelitian dan pengembangan dalam bidang ini menjajaki berbagai metode pemrosesan sinyal maupun aplikasi. Salah satu implementasi yang mendapat perhatian adalah Li-fi atau light fidelity, yang memiliki fungsi serupa Wifi namun menggunakan gelombang cahaya tampak atau visible light communication (VLC), sehingga memiliki kecepatan yang lebih tinggi. Implementasi lain yang dikembangkan adalah untuk komunikasi antar titik dalam jaringan yang menggunakan beragam media seperti smart city ataupun internet of things.

Sistem komunikasi optik yang digunakan luas selama ini, pada dasarnya berbasis modulasi sederhana on-off keying (OOK) [1], [2]. Pada tulisan ini dipaparkan simulasi transmisi optik nir kabel pada berbagai tingkat gangguan turbulensi atmosfir menggunakan beberapa variasi skema modulasi, yaitu pulse position modulation (PPM) yang merupakan variasi OOK, dan modulasi MPSK dan MQAM.

Pengembangan model kanal FSO yang dilakukan oleh [3] khususnya untuk indoor beserta turbulensi atmosfir. Performansi berbagai skema modulasi dibandingkan pada [1] dan [4] antara lain untuk rasio error, daya dan bandwidth. Pada [5], [6], [7] melakukan pengamatan untuk transmisi optik nir kabel untuk masing-masing satu jenis modulasi. Pada tulisan kami sebelumnya [8] [9] dilakukan eksplorasi terhadap modulasi QAM, PSK, dan OFDM. Pada [10] dan [11] diketengahkan teknik koreksi error pada transmisi.

Tulisan ini memaparkan perbandingan kinerja transmisi FSO menggunakan beberapa variasi skema modulasi yaitu OOK, PPM PSK 2,4,8, dan 16, serta QAM 4 dan 16. Variabel kinerja adalah bit error rate atau BER, yang diambil dari hasil pengamatan pada data diterima. Dari pekerjaan yang dilakukan diharapkan menjadi rekomendasi untuk pemilihan teknik modulasi untuk sistem komunikasi optik nir kabel, khususnya mengantisipasi sistem multi user ke depan.

Bagian selebihnya tulisan ini disusun sebagai berikut. Pada bagian kedua disampaikan mengenai model sistem yang disimulasikan berikut keempat teknik modulasi. Pada bagian tiga dipaparkan skenario simulasi. Bagian empat menampilkan hasil simulasi dan analisa. Tulisan diakhiri dengan kesimpulan.

# Model sistem dengan berbagai modulasi

Standar sistem komunikasi optik yang digunakan saat ini, adalah hanya berbasis on-off keying (OOK). Penerapan pengolahan sinyal berbasis perangkat lunak pada komunikasi optik atau software-defined optical transmission mendorong penggunaan berbagai variasi modulasi yang lebih kompleks. Semua itu dilakukan untuk memperoleh kapasitas yang lebih tinggi pada transmisi optik. Dari dua tipe OOK yaitu RZ (return to zero) dan NRZ (non return to zero) pada pekerjaan ini digunakan NRZ-OOK sebagai pembanding.

Pulse Position Modulation atau PPM adalah teknik modulasi di mana suatu slot waktu dibagi menjadi 2^M pulsa satuan, dan data sebesar M-bit dikodekan sebagai salah satu pulsa tersebut. Cara ini dapat menghemat penggunaan daya dibandingkan OOK, namun memperbesar penggunaan sumber lain seperti bandwidth dan kompleksitas pensinyalan. Pustaka [5] melakukan implementasi PPM untuk optik nir kabel menggunakan 2 LED.

Dibandingkan dengan OOK dan PPM yang berbasis spasial, PSK dan QAM merupakan modulasi sub carrier yang belum lama mulai ditelaah untuk komunikasi optik nir kabel. Antara lain [1] melakukan pembandingan unjuk kerja antara OOK dan beberapa varian MPSK, dan [6] mengembangkan modulasi berbasis BPSK dan PPM untuk optiknir kabel. [7] mengamati performansi QAM pada beberapa model kanal FSO.

Gambar 1 menunjukkan model sistem yang disimulasikan. Pada bagian modulasi dan demodulasi keempat teknik diimplementasi untuk dibandingkan performansi masing-masing. RZ-OOK 2 bit dan PPM-4 yang digunakan pada tulisan ini ditampilkan pada Gambar 2. PSK dan QAM yang diterapkan adalah pada beberapa variasi, yang dijabarkan pada bagian selanjutnya.

*Gambar 1. Model sistem.*



*Gambar 2. OOK 2 bit dan PPM 4 slot waktu.*

Perhitungan BER tidak dilakukan menggunakan model error, tetapi dengan membandingkan secara langsung data diterima dengan data asli.

$BER= 1/N(\sum\_{}^{}\left|Data-Data\_{terima}\right|$ (1)

dengan

 N: jumlah data

Tulisan mengamati performansi transmisi optik nir kabel pada simulasi, yang mengimplementasi model sistem pada Gambar 1 di atas. Pada bagian modulasi dalam gambar tersebut dilakukan variasi tipe dan parameter modulasi, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel I

Skema Modulasi

|  |  |
| --- | --- |
| **Modulasi** | **Parameter** |
| **Tipe** | **M** |
| OOK | NRZ | 2 |
| PPM | NRZ | 4 |
| PSK | Circular | 2, 4,16 |
| QAM | Square | 4,16 |

PSK dan QAM dipilih untuk implementasi sebagai modulasi passband dengan domain kompleks, yang juga merupakan bagian dari standar untuk implementasi OFDM [8][9]. Implementasi OFDM sendiri pada sistem komunikasi optik membutuhkan penyesuaian. Di antara penyesuaian yang ditawarkan adalah koreksi error atau forward error correction. Pada [10] dan [11], forward error correction dilakukan dengan teknik low-density parity-check atau LDPC, yang menggunakan matriks paritas pada bagian pemancar dan penerima untuk melakukan pengecekan dan koreksi data. Implementasi dilakukan menggunakan prinsip sub carrier intensity modulation SIM [2].

# Kanal optik nir kabel

Transmisi data optis nir kabel (FSO) dalam ruangan selain syarat utama yaitu line of sight (LOS), juga dipengaruhi berbagai hal. Di antara yang sangat signifikan adalah pola radiasi, serta gangguan yang dimodelkan disebut sebagai turbulensi atmosferik.

Transmisi optik nir kabel menggunakan medium terbuka yang memiliki refractive index tidak tetap, dapat bervariasi secara acak. Efek ini disebut sebagai fluktuasi iradiansi atau scintillation, dan memberikan pengaruh gangguan fading pada sinyal yang diterima setelah transmisi. Gangguan ini dikategorikan dalam skala 0-1, yang menunjukkan tingkat gangguan pada sinyal yang ditransmisikan. Secara umum angka tersebut diartikan kekuatan sinyal optik yang diterima, setelah mengalami efek fading pada transmisi.

Model kanal dan gangguan turbulensi yang diimplementasi pada tulisan ini menggunakan model kanal atmosferik log normal [2].

$I=I\_{0}exp⁡(\sqrt{Pout. σ^{2}}-σ^{2}/2)$ (2)

dengan

$I$ : sinyal diterima

$I\_{0}$ : sinyal dikirimkan

$Pout$ : probabilitas keluaran

$σ^{2}$ : tingkat iradiansi

Untuk probabilitas luaran digunakan distribusi normal. Tingkat iradiansi pada rentang 0 sampai 0,9.

# Hasil pengamatan

Pada tulisan ini ditampilkan data simulasi untuk berbagai skema modulasi, pada electrical SNR sampai 12. Mula-mula dilakukan pembandingan antara berbagai teknik modulasi pada satu kondisi turbulensi atmosferik, kemudian dilakukan pengamatan pada satu teknik modulasi untuk berbagai kondisi gangguan.

Simulasi dijalankan untuk transmisi data pendek yaitu hanya pada kisaran kb. Pengamatan nilai BER bukan dilakukan melalui perhitungan stokastik melainkan melalui pengamatan dan perbandingan langsung antara data diterima dengan data yang dikirimkan.

## Variasi skema modulasi

Unjuk kerja error pada berbagai modulasi dilakukan pada satu kondisi kanal yaitu kekuatan iradiansi = 0,7. Index ini secara umum dikelompokkan pada tiga kategori yaitu sangat rendah, rendah sampai tinggi, dan mendekati saturasi. Angka 0,7 pada skala 0-0.9 termasuk kategori tinggi namun belum memasuki daerah saturasi.

*Gambar 3. BER berbagai modulasi untuk SNR 2-12 pada iradiansi0,7*

Pada Gambar 3 ditampilkan unjuk kerja ketujuh skema modulasi pada electrical SNR 2 sampai 12. Gambar 4 menunjukkan unjuk kerja rata-rata ketujuh modulasi yang sama. Secara keseluruhan performansi error yang ditampilkan menunjukkan tingkat kesalahan yang tinggi. Sampai electrical SNR 12 nilai BER yang diperoleh masih berada dalam daerah sekitar 10-3. Hal ini antara lain disebabkan oleh panjang data yang dikirimkan yang hanya pada besaran kb.

Tampak bahwa OOK dan PPM sangat rentan pada kondisi gangguan atmosferik tinggi yang diberikan. Keduanya menunjukkan nilai BER di atas -0.5 dB yang berarti bahwa kesalahan yang terjadi sangat besar, bahjan pada beberapa kondisi dapat lebih dari setengah pengiriman mengalami kesalahan.

BPSK dan 4 QAM menunjukkan unjuk kerja terbaik dengan pada rentang 10-2.5 dB sampai 10-4dB. NilaiBER rata-rata keduanya mendekati 10-3. 16 QAM dan 16 PSK menunjukkan performansi yang rendah dengan nilai BER rata-rata pada kisaran 10-1. Di atas itu QPSK adalah kandidat ketiga, menunjukkan kinerja yang lebih baik pada rentang antara 10-2 sampai 10-2.5. Perlu diingat bahwa data yang ditampilkan diperoleh untuk transmisi dengan SNR tidak lebih dari 12, dan pada turbulensi atmosfir tinggi yaitu 0,7. Pada [1] yang membandingkan kinerja modulasi OOK dan PSK, diperoleh nilai BER sekitar 10-6 pada SNR12 untuk BPSK dan QPSK, pada scintillation index di bawah 0,6. Selain tidak membandingkan QAM, perbedaan lain tulisan tersebut adalah bahwa nilai BER diperoleh dari kalkulasi dan bukan pengamatan data langsung.

*Gambar 4. BER rata-rata berbagai modulasi untuk SNR<12 pada* *iradiansi 0,7.*

## Efek gangguan kanal

Untuk mengamati efek turbulensi atmosferik pada transmisi optik nir kabel, dilakukan pembandingan terhadap satu jenis modulasi, dengan tingkat iradiansi yang memberikan efek fading pada nilai 0,4 sampai 0,9 , yang mencerminkan gangguan tingkat rendah sampai tinggi [12]. Sebagai perbandingan, turbulensi indoor pada area terkendali umumnya dilakukan dengan index scintillation di bawah 0,1 [13].

Modulasi yang diambil untuk pengamatan adalah QPSK, yang pada hasil sebelumnya menunjukkan performansi cukup baik atau medium, dengan BER rata-rata di sekitar nilai -2,5 dB. Gambar 5 menampilkan hasil pengamatan pada data diterima. Sekali lagi pengamatan dilakukan pada kondisi SNR sampai 12, dengan nilai BER yang berasal dari perbandingan langsung antara sinyal hasil proses dengan sinyal asli.

*Gambar 5. BER modulasi QPSK untuk index scintillation 0,4-0,9 pada SNR 2-12.*

Tampak bahwa unjuk kerja QPSK, mengalami peningkatan atau penurunan BER yang signifikan terutama pada index dibawah 0,7. Pada index 0,4 dan 0,5 nilai BER yang dicapai berada di bawah 10-5.

# Kesimpulan

Tulisan ini telah membahas kinerja transmisi optik nir kabel menggunakan modulasi OOK, PPM, MPSK dan MQAM, pada kanal berturbulensi atmosferik dengn model log normal. Dari performansi error yang diamati pada pada pengiriman data pendek dalam kondisi turbulensi tinggi dengan SNR 2-12, BPSK dan 4 QAM menunjukkan hasil terbaik dengan BER rata-rata mendekati -10-3. Sehingga kedua modulasi ini dapat direkomendasikan untuk digunakan secara langsung pada komunikasi FSO. Modulasi konvensional OOK ataupun variasinya yaitu PPM menunjukkan kinerja yang buruk untuk gangguan tinggi, yaitu dengan nilai BER di kisaran 10-0,5. Khusus untuk kinerja QPSK menunjukkan hasil yang baik untuk index scintillation kurang dari 0,5.

Pengamatan selanjutnya akan dilakukan untuk data yang lebih panjang dan kondisi electrical SNR diperluas, serta mengaplikasikan pengkodean maupun teknik modulasi yang lebih kompleks seperti OFDM. Kedua modulasi dengan unjuk kerja terbaik dapat dijadikan titik tolak pengkodean pada OFDM yang menggunakan PSK dan QAM.

# Ucapan Terima Kasih

Artikel ini merupakan bagian dari Penelitian Produk Terapan dalam pendanaan Kemenristekdikti 2016.

# Referensi

1. B. Barua and D. Barua, 2011, "Evaluate the performance of FSO communication link with different modulation technique under turbulent condition," 14th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT 2011), Dhaka, pp. 191-195
2. Z. Ghassemlooy, W. Popoola, S. Rajbhandari, 2013, “Optical Wireless Communications: System and Channel Modelling with MATLAB® ”, CRC Press.
3. R. Pernice et al., 2014, "Optical turbulence measurements and channel modeling of an indoor Free Space Optics link," 2014 Fotonica AEIT Italian Conference on Photonics Technologies, Naples, pp. 1-4
4. H. Elgala and T. D. C. Little, 2015, "Polar-based OFDM and SC-FDE links toward energy-efficient Gbps transmission under IM-DD optical system constraints [Invited]," in IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, vol. 7, no. 2, pp. A277-A284
5. H.G. Olanrewaju, J. Thompson and W.O. Popoola, "Generalized Spatial Pulse Position Modulation for Optical Wireless Communications," 2016 IEEE 84th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), Montreal, QC, 2016, pp. 1-5.
6. H. Liu, R. Liao, Z. Wei, Z. Hou and Y. Qiao, "BER Analysis of a Hybrid Modulation Scheme Based on PPM and MSK Subcarrier Intensity Modulation," in IEEE Photonics Journal, vol. 7, no. 4, pp. 1-10, Aug. 2015
7. M. Z. Hassan, X. Song and J. Cheng, "Subcarrier intensity modulated wireless optical communications with rectangular QAM," in IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, vol. 4, no. 6, pp. 522-532, June 2012
8. Astharini, Dwi, T. Bastian, R. Mustika, O.N. Samijayani, R. Safitri; 2015; “Zero Padding and Cyclic Prefix for OFDM on Multipath Rayleigh Fading Channel,” Journal of Mobile Multimedia Vol.11 No.3&4, pp.330-338, Rinton Press.
9. Paujia, NS; Astharini, D; Samijayani,ON; 2012; “SER and BER analysis using GNU Radio for PSK and QAM Modulation”; Proceedings of ISSTIN 2012; pp. 136-141
10. Kachris, C.; Tzimpragos, G.; Soudris, D.; Tomkos, I., 2014; "Reconfigurable FEC codes for software-defined optical transceivers," Optical Communications and Networks (ICOCN), 2014 13th International Conference on , vol.1, no.4, pp.9-10
11. Sahputra, R.; Astharini, D.; Faisal; 2017; “LDPC code for OFDM transmission using bit flipping and sum product algorithm”; Advanced Science Letters, Vol. 23, No.3, AmericanScientific Publishers.
12. Arnold Tunick, 2008, “Optical turbulence parameters characterized via Optical measurements over a 2.33 km free-space laser path”, OPTICS EXPRESS Vol. 16, No. 19 pp 14645-14654, Optical Society of America
13. R. Pernice et al., 2015, “Indoor free space optics link under the weak turbulence regime: measurements and model validation”; in IET Communications, vol. 9, no. 1, pp. 62-70.