

Konsep dan Kinerja dari Sistem Hybrid OCDMA/WDM untuk Local Area Network

Nasaruddin

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Syeh Abdurrauf No.7 Darussalam Banda Aceh 23111
email: nasaruddin@unsyah.net

Abstrak—Peningkatan kapasitas, distribusi *bandwidth* dan daya merupakan beberapa isu penting untuk aplikasi *local area network* (LAN). Saat ini, teknologi fiber optik sudah dapat mendukung jaringan akses dengan kecepatan tinggi untuk layanan multimedia diantaranya teknologi OCDMA dan WDM. Penambahan kapasitas transmisi LAN bisa dilakukan dengan penggabungan sistem transmisi OCDMA dengan WDM. Untuk itu, paper ini mengusulkan konsep dan kinerja dari sistem *hybrid* OCDMA/WDM. Sistem *hybrid* OCDMA/WDM ini bertujuan untuk meningkatkan *bandwidth* dan kemampuan akses serta tingkat keamanan yang tinggi untuk LAN. Selanjutnya kinerja dari sistem OCDMA/WDM dibahas secara teoritis. Kemudian pembuatan simulasi numerik dilakukan untuk mendapatkan karakteristik kinerja sistem *hybrid* OCDMA/WDM. Hasil simulasi numerik untuk kinerja OCDMA/WDM dibandingkan dengan kinerja OCDMA dan WDM. Dari perbandingan tersebut didapatkan bahwa kinerja OCDMA/WDM lebih baik dibandingkan dengan kinerja OCDMA atau WDM.

Kata Kunci: *LAN, kinerja, OCDMA, WDM, hybrid OCDMA/WDM.*

I. PENDAHULUAN

Saat ini, beberapa isu penting untuk aplikasi *local area network* (LAN) adalah peningkatan kapasitas jaringan, distribusi *bandwidth* dan daya untuk setiap pengguna [1]. Penambahan *bandwidth* diperlukan untuk peningkatan kapasitas transmisi khususnya untuk layanan multimedia. Perkembangan teknologi fiber optik sudah dapat mendukung sistem informasi yang dapat memberi akses untuk berbagai jenis informasi seperti data, suara dan video. Hal ini dikarenakan fiber optik mempunyai *bandwidth* yang sangat besar, bahkan tidak terbatas sejauh bisa dieksplorasikan. Adapun teknologi fiber optik untuk penambahan *bandwidth* bagi LAN adalah sistem transmisi *optical code division multiple access* (OCDMA) dan *wavelength division multiplexing* (WDM) [1, 2]. Pada sistem transmisi OCDMA, setiap *user* menggunakan kode khusus dengan frekuensi dan waktu yang sama. Kode-kode khusus tersebut yang akan membedakan antara *user* yang satu dengan *user* yang lain. Sehingga OCDMA menawarkan sistem yang lebih fleksibel dengan *bandwidth* komunikasi yang tersedia sangat besar dalam jaringan fiber optik dan kemampuan menjaga kerahasiaan data. OCDMA telah banyak diimplementasikan dengan menggunakan berbagai jenis koding dan skema deteksi [3]. Sedangkan teknologi WDM adalah teknologi *transport* untuk menyalurkan berbagai jenis trafik (data, suara dan video)

secara transparan, dengan menggunakan panjang gelombang yang berbeda-beda antara pengguna yang satu dengan pengguna yang lain dalam suatu fiber tunggal secara bersamaan.

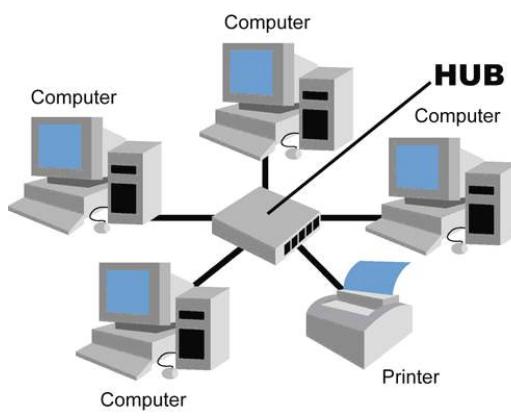
Penambahan kapasitas transmisi LAN, OCDMA dapat digabungkan dengan WDM karena masing-masing sistem dapat menghindari pemakaian panjang gelombang yang sama dalam suatu jaringan yang terintegrasi. Dengan memperkenalkan konsep sistem *hybrid* OCDMA/WDM, maka jumlah panjang gelombang yang dibutuhkan oleh semua *user* dalam suatu jaringan bisa dikurangi karena semua *user* OCDMA menggunakan panjang gelombang yang sama dan konfigurasi *user* pada jaringan lebih sederhana. Oleh karena itu, sistem *hybrid* OCDMA/WDM bisa menjadi sebuah pilihan sistem yang baik untuk LAN dengan *bandwidth* yang tinggi dan kemampuan akses yang mudah serta tingkat keamanan yang tinggi.

Paper ini membahas tentang konsep dan kinerja dari sistem *hybrid* OCDMA/WDM. Konsep sistem *hybrid* yang diusulkan merupakan penggabungan konsep OCDMA yang menggunakan optical orthogonal codes (OOC) dengan konsep WDM yang menggunakan panjang gelombang yang berbeda untuk usernya. Kemudian, paper ini membahas kinerja dari sistem *hybrid* OCDMA/WDM secara teoritis. Berdasarkan simulasi numerik, karakteristik performasi dari sistem *hybrid* OCDMA/WDM bisa diketahui. Untuk menvalidasi hasil simulasi tersebut, kinerja sistem OCDMA/WDM dibanding dengan kinerja OCDMA dan WDM. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa kinerja OCDMA/WDM lebih baik dibandingkan dengan kinerja OCDMA atau WDM.

II. DASAR TEORI

A. Local Area Network

Local Area Network (LAN) adalah sejumlah komputer atau peralatan pendukung seperti printer, fax, dan lain-lain yang saling dihubungkan bersama di dalam satu areal tertentu yang tidak begitu luas, seperti di dalam satu kantor atau gedung. Gambar 1 menunjukkan sebuah jaringan LAN dengan topologi jaringan star, dimana komputer-komputer dan printer saling terhubung melalui sebuah HUB. Pada umumnya, LAN diaplikasikan untuk pengiriman data antar pengguna dalam jaringan. Implementasi LAN sudah dilengkapi dengan kemampuan pengiriman data dengan kecepatan tinggi secara otomatis pada proses transmisi. Kecepatan pengiriman akan terus meningkat sejalan dengan perkembangan teknologi dan jarak jangkauannya akan semakin luas.



Gambar 1. Jaringan LAN

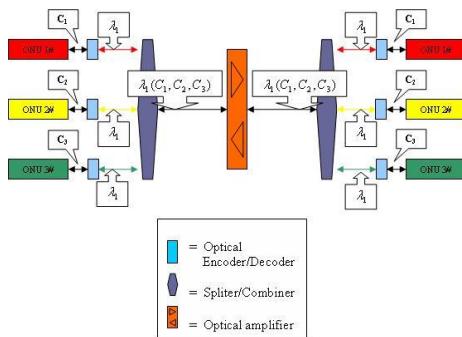
Sebuah jaringan LAN mempunyai karakteristik berikut:

- Kecepatan data yang lebih tinggi.
- Cakupan wilayah geografi yang lebih sempit.
- Tidak membutuhkan layanan jasa pihak operator telekomunikasi.

B. Optical CDMA

Optical CDMA (OCDMA) merupakan suatu teknik *spread spectrum* yang diterapkan pada media kabel yaitu fiber optik. Sistem OCDMA tidak mengalokasikan frekuensi ataupun waktu dalam *slot user*, tetapi memberikan hak kepada semua *user* untuk menggunakan keduanya secara simultan. Pada OCDMA, masing-masing *user* dibedakan dengan deretan kode dalam bentuk bit-bit yang unik untuk mengirimkan informasinya.

Gambar 2 menunjukkan konsep sistem OCDMA, dimana setiap *user* menggunakan *codeword* yang berbeda-beda (misalnya C_1 , C_2 atau C_3). Dengan menggunakan *optical encoder*, *codeword-codeword* tersebut diubah ke bentuk sinyal optik dengan panjang gelombang yang sama antara *user* yang satu dengan yang lainnya yaitu λ_1 . Kemudian *splitter/combiner* menggabungkan sinyal-sinyal dari semua *user* yang aktif sebelum dikirimkan melalui sebuah fiber optik tunggal. Untuk pengiriman jarak jauh, sinyal tersebut perlu dikuatkan oleh penguat optik (*optical amplifier*) sebelum dilakukan pengiriman sinyal tersebut. Sinyal yang diterima kemudian dipisahkan kembali dengan perangkat *splitter/combiner* agar diperoleh sinyal asli. Dengan menggunakan *optical decoder*, sinyal-sinyal tersebut kemudian diubah ke dalam bentuk *codeword* kembali sebelum dikirimkan ke setiap *Optical Network Unit* (ONU) yang sesuai.



Gambar 2. Arsitektur Sistem OCDMA [5]

• Optical Orthogonal Codes (OOC)

Kode unik yang sering digunakan untuk sistem *unipolar OCDMA* adalah *optical orthogonal codes* (OOC). OOC merupakan suatu deretan bit (0 atau 1) dengan nilai *auto* dan *cross* korelasi yang rendah yaitu 1. Deretan bit dari OOC disebut dengan *codeword*. Sebuah OOC harus memenuhi kriteria berikut [3]:

- a. Setiap *codeword* dalam suatu set kode harus dapat dibedakan dari sebuah versi pergeseran dari *codeword* itu sendiri.
- b. Setiap *codeword* harus bisa dibedakan dari setiap kombinasi versi pergeseran dari *codeword-codeword* yang lain dalam suatu set kodennya. Sebuah kode OOC ditulis dalam bentuk (n, w, λ) OOC, dimana n adalah jumlah bit-bit dalam suatu *codeword*, w adalah jumlah nilai bit 1 dalam suatu *codeword*, dan λ adalah nilai *auto* dan *cross* korelasi dari OOC tersebut.

• Kinerja OCDMA

Kinerja dari OCDMA tergantung interferensi antar *user*, *shot noise* dan noise detektor. Namun demikian, dalam analisa kinerja hanya interferensi antar *user* yang sering dipertimbangkan, sehingga probabilitas error P_e dapat dihitung seperti pada persamaan berikut [4]:

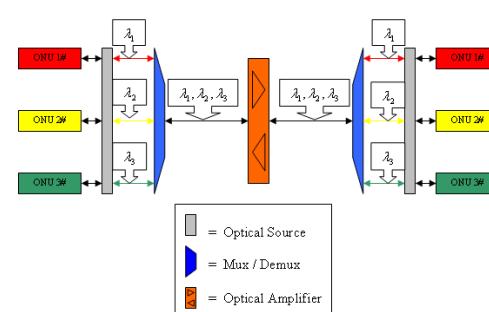
$$P_{OCDMA} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{M-1} (C_i^{M-1}) \left(\frac{w}{2n} \right)^i \left(1 - \frac{w}{2n} \right)^{M-1-i} \quad (1)$$

dimana M adalah jumlah *user* pada network, w adalah jumlah nilai bit 1 dalam suatu *codeword* (biasanya disebut *code weight*), n adalah jumlah bit-bit dalam suatu *codeword* (panjang kode).

C. Wavelength Division Multiplexing

Wavelength Division Multiplexing (WDM) merupakan sebuah teknologi yang memiliki beberapa panjang gelombang untuk penransmisiun beberapa kanal secara simultan melalui sebuah fiber optik tunggal, dengan demikian memungkinkan setiap panjang gelombang untuk membawa bit-bit informasi yang berbeda. Setiap kanal pada WDM akan dibedakan dengan panjang gelombang yang dikirimkan oleh sumber informasi.

Konsep dari sistem WDM tersebut diilustrasikan dengan arsitektur sistem pada Gambar 3. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa terdapat tiga buah ONU yang berupa data dari *user* yang berbeda. Data-data tersebut dikirimkan dengan menggunakan panjang yang berbeda-beda antara



Gambar 3. Arsitektur Sistem WDM [5]

satu *user* dengan *user* lainnya yaitu λ_1 , λ_2 dan λ_3 . Setiap panjang gelombang tersebut kemudian di *multiplex* dengan perangkat *multiplexing* untuk dikirimkan melalui sebuah fiber optik tunggal. Sinyal tersebut kemudian dikuatkan dengan penguat optik sebelum dikirimkan kembali menuju *demultiplexer*. Pada perangkat *demultiplexer* tersebut, sinyal-sinyal di *demultiplex* kembali untuk memisahkan sinyal hingga diperoleh sinyal-sinyal dengan panjang gelombang yang berbeda seperti sebelum di *multiplex*. Kemudian sinyal-sinyal tersebut dikirimkan kembali ke masing-masing ONU yang sesuai.

Bit error rate (BER) dari WDM diperlukan untuk mengetahui kualitas sinyal optik yang sampai pada node tujuan. Hal ini dilakukan dengan menghitung parameter secara fisik. *Q-factor* merupakan gambaran kuantitatif dari kualitas sinyal optik dan berhubungan dengan BER. *Q-factor* akan dihitung berdasarkan nilai μ_0 dan μ_1 serta standar deviasi σ_0 untuk level tegangan input 0 dan σ_1 untuk tegangan input level 1. *Q-factor* dapat dituliskan sebagai berikut [6]:

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1} \quad (2)$$

Q-factor dapat digunakan untuk mengevaluasi pelemahan propagasi yang disebabkan oleh pertambahan *noise* optik, pengaruh *nonlinear*, pengaruh polarisasi dan dispersi *chromatic*. Selain itu pelemahan dapat disebabkan oleh fungsi analogis *transmitter* dan *receiver* optik, hubungan BER pada sistem WDM dengan *Q-factor* dapat dirumuskan sebagai berikut [6]:

$$BER = \frac{1}{2} erfc \left(\frac{Q}{\sqrt{2}} \right) \quad (3)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut;

- Studi literatur tentang teori-teori terkait dengan LAN, OCDMA dan WDM.
- Mempelajari konsep sistem *hybrid* OCDMA/WDM.
- Membuat simulasi numerik untuk kinerja OCDMA, WDM dan OCDMA/WDM.

d. Analisa hasil dari kinerja sistem *hybrid* OCDMA/WDM.

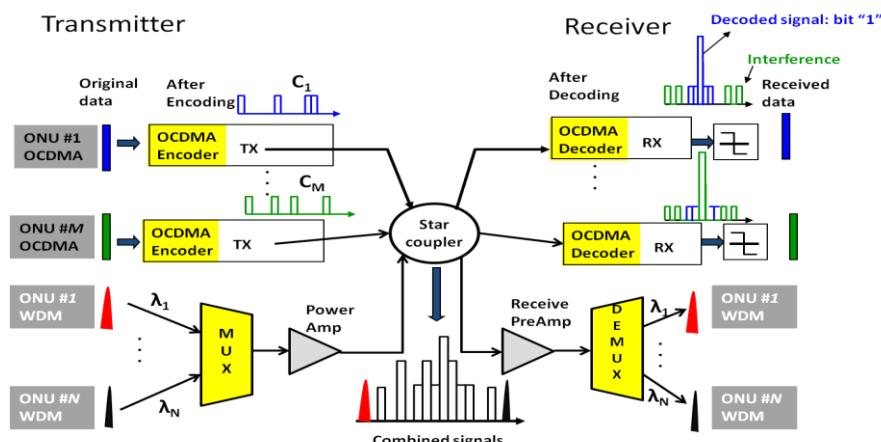
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Konsep Sistem Hybrid OCDMA/WDM untuk LAN

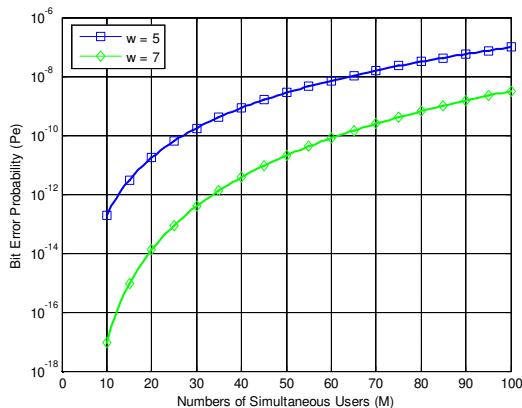
Dalam sistem *Hybrid* OCDMA-WDM, trafik jaringan terdiri dari sejumlah ONU OCDMA dan sejumlah ONU WDM. Sistem OCDMA menggunakan OOC sebagai kode untuk membedakan *codeword* ONU yang satu dengan yang lain. Sedangkan pada sistem WDM, setiap ONU-nya akan menggunakan panjang gelombang yang berbeda. Sehingga jumlah total ONU yang ada pada sistem *hybrid* OCDMA/WDM adalah jumlah semua ONU OCDMA ditambah dengan semua ONU WDM.

Gambar 4 menunjukkan sistem *hybrid* OCDMA/WDM untuk LAN yang diusulkan pada paper ini. Secara umum, konsep dari sistem *hybrid* adalah menggabungkan dua konsep dasar dari sistem OCDMA dan WDM, dimana masing-masing ONU melakukan transmisi data melalui satu jaringan yang terintegrasi oleh sebuah *star coupler* yang sering digunakan untuk *optical LAN*. Setiap *user* terdiri dari pasangan *transmitter* dan *receiver* yang akan mengirim data melalui sebuah *star coupler* untuk membagi kanal optik. Untuk M ONU OCDMA menggunakan M *codeword* yang berbeda dari OOC (C_1, \dots, C_M). Pada *transmitter*, data akan dienkripsi oleh *optical encoder*. Data pada *transmitter* yang aktif akan dimodulasikan dengan modulasi *on-off keying* (OOK).

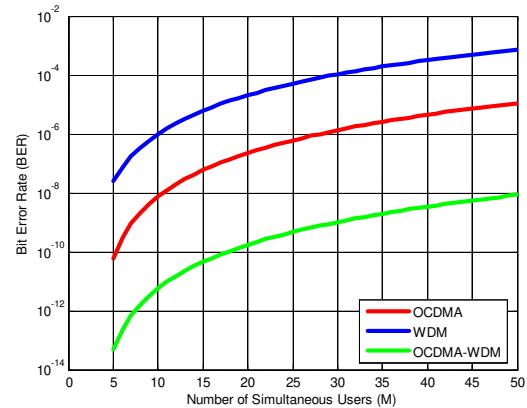
Setelah pengkodean dan proses modulasi, *transmitter* yang aktif menggabungkan transmisi data melalui sebuah kanal umum dan kemudian mendistribusikan ke setiap ONU. Pada *receiver*, *decoder* akan mencocokkan *codeword* yang diinginkan oleh ONU yang dituju. Jika setiap pasangan *codeword* dari *transmitter* dan *receiver* cocok, maka output dari korelator adalah sebuah korelasi *auto puncak* yang akan dideteksi dimana *transmitter* telah mengirim sebuah bit data "1". Sebaliknya, output korelator adalah korelasi silang antar *codeword* ONU yang lain. Pengaruh sinyal dari WDM tetap ada untuk sinyal OCDMA, tetapi *threshold* OCDMA di set sama dengan nilai *codeweight* sehingga pada detektor optik dapat membedakan sinyal OCDMA atau sinyal WDM. Kemudian, proses terakhir adalah detektor optik akan mendeteksi *threshold* sinyal untuk mengembalikan data asli.



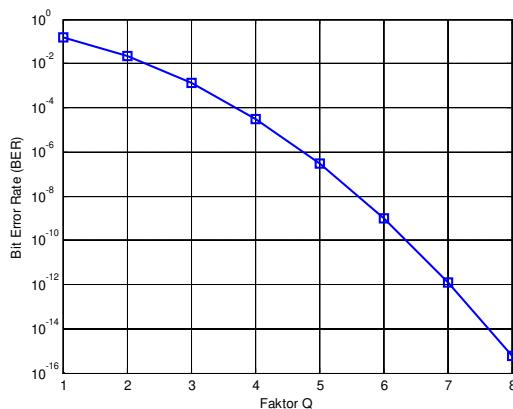
Gambar 4. Sistem hybrid OCDMA/WDM untuk LAN



Gambar 5. Hubungan Pe versus jumlah user yang aktif (M) dengan $codelength n = 10000$.



Gambar 7. BER OCDMA, WDM dan Hybrid OCDMA-WDM untuk nilai $w = 4$.



Gambar 6. Hubungan antara BER terhadap Q -factor.

Pada sistem WDM, N ONU WDM menggunakan N panjang gelombang yang berbeda ($\lambda_1, \dots, \lambda_N$) untuk masing-masing ONU. Pada *transmitter*, data dari ONU akan dikirimkan dan dikumpulkan pada peralatan *multiplexing*.

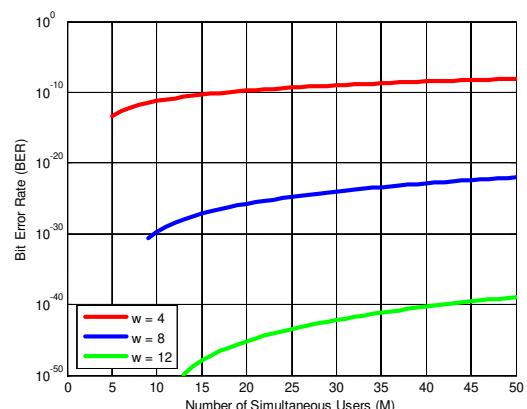
Data-data tersebut dikuatkan terlebih dahulu oleh *Power Amp* sebelum dikirim ke *receiver* melalui *star coupler*. Sinyal gabungan pada *star coupler* yang akan dikirimkan ke *receiver* dikuatkan kembali melalui *receive PreAmp* dan selanjutnya ditransmisikan ke *demultiplexing* untuk memilih panjang gelombang ke ONU masing-masing (yang sesuai).

Untuk menganalisa kinerja sistem *hybrid OCDMA* perlu dilakukan adopsi dan modifikasi dari performansi sistem OCDMA dan WDM. Adapun parameter penting untuk melihat kinerja dari sebuah sistem *hybrid OCDMA/WDM* adalah *Probability of error (Pe)*. Sehingga kinerja dari sistem *hybrid OCDMA/WDM* dapat dihitung dengan mengadopsi persamaan pada [7] sebagai berikut:

$$P_{OCDMAWDM} = \frac{1}{2} \sum_{i=w}^{M-1} \sum_{j=w}^N (P_{OCDMA})(P_{WDM})(P_{FA} + P_{MD}) \quad (4)$$

P_{OCDMA} adalah kinerja OCDMA pada persamaan (1). Kemudian, probabilitas kesalahan dari sistem WDM bisa dilihat dari banyaknya ONU WDM yang mengirimkan bit 1 dalam bentu variabel acak dengan distribusi binomial, sehingga kinerja tersebut dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_{WDM} = \frac{1}{2} \sum_j^N \left(C_j^N \right) \left(\frac{1}{2D} \right)^j \left(1 - \frac{1}{2D} \right)^{N-j} \quad (5)$$



Gambar 8. Kinerja OCDMA/WDM untuk nilai w yang berbeda.

dimana:

M = Jumlah User OCDMA

w = Code weight

n = Codelength

N = Jumlah User WDM

D = Perbandingan antara durasi bit dari setiap User OCDMA dan durasi bit dari setiap User WDM.

Kemudian P_{FA} merupakan probabilitas interferensi yang dikalikan dengan *threshold*. Sedangkan P_{MD} merupakan probabilitas bahwa kombinasi dari pengiriman bit “1” yang tidak terinterferensi dikalikan dengan *threshold*. Sehingga kedua parameter ini dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_{FA} = \exp \left(-\frac{Th}{2z} \right) \quad (6)$$

dan

$$P_{MD} = 1 - Q \left(\sqrt{\frac{x}{z}} \cdot \sqrt{\frac{Th}{z}} \right) \quad (7)$$

serta

$$z = i \frac{X}{2n} + j \frac{YD(4N_0 - D)}{16N_n^2} \quad (8)$$

dimana:

$$Th = \text{Threshold}$$

X = Daya puncak pada OCDMA

Y = Daya puncak pada WDM

N_0 = Jumlah panjang gelombang WDM

z = nilai interferensi

B. Hasil Simulasi Numerik

1) Kinerja OCDMA

Gambar 5 menunjukkan karakteristik kinerja dari OCDMA menggunakan OOC dengan panjang kode $n = 10000$ dan *codeweight* w yang berbeda ($w=5$ dan $w=7$) serta diasumsikan jumlah *user* yang aktif secara simultan adalah 100 *user* pada simulasi ini.

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa kinerja Pe akan menurun apabila terjadi pertambahan dari jumlah user yang aktif secara bersamaan dalam sistem. Kemudian kinerja Pe akan sangat dipengaruhi oleh nilai *codeweight* yang digunakan pada OOC. Hal ini dapat dilihat dari hasil simulasi yang menunjukkan bahwa nilai *codeweight* yang besar akan menghasilkan kinerja yang lebih baik. Misalnya pada Gambar 5, untuk 10 user yang aktif secara bersamaan dengan $w=7$ besar $Pe = 10^{-17}$, sedangkan untuk $w=5$ besar $Pe = 10^{-13}$.

2) Performasi Sistem WDM

BER diperkirakan secara tidak langsung dengan mengukur nilai Q , yang mana menentukan sensitivitas penerima pada sebuah sistem WDM. Sensitivitas penerima merupakan daya optik rata-rata yang dibutuhkan untuk mencapai suatu BER tertentu pada kecepatan data tertentu pula, yang mana biasanya diukur pada $BER = 10^{-12}$ yang menunjukkan kinerja sistem WDM yang baik [8].

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara *Q-factor* terhadap BER dimana pertambahan nilai *Q-factor* akan menyebabkan nilai BER yang akan semakin kecil. Sehingga semakin rendahnya nilai BER tersebut maka semakin baik kinerja dari sistem WDM.

3) Kinerja Sistem Hybrid OCDMA/WDM

Simulasi numerik kinerja sistem hybrid OCDMA/WDM dilakukan dengan mempertimbangkan parameter-parameter yang terdapat pada Tabel I:

Dengan menggunakan parameter-parameter diatas, kinerja dari sistem hybrid OCDMA/WDM ditunjukkan pada Gambar 7. Dimana kinerjanya menurun sejalan dengan peningkatan jumlah user yang aktif secara bersamaan. Pada Gambar 7, dengan menggunakan parameter-parameter yang sama, kinerja dari OCDMA dan WDM juga turut dilampirkan. Kinerja OCDMA bisa lebih baik dari sistem WDM, tetapi kinerja sistem hybrid

OCDMA/WDM jauh lebih baik dari sistem WDM maupun OCDMA. Sehingga sistem hybrid ini bisa memberikan beberapa keuntungan selain sistem yang lebih flexible, kinerja lebih baik dan tingkat *security* juga akan lebih tinggi karena akan sulit untuk melakukan deteksi pada saat transmisi untuk mengetahui sinyal OCDMA atau sinyal WDM.

Dengan menggunakan parameter yang sama seperti pada Tabel I, tetapi nilai codeweighting dari OOC yang dibedakan yaitu $w = 4, 8$ dan 12 . Pengaruh *codeweighting* (w) pada kinerja sistem *Hybrid* OCDMA/WDM dapat dilihat pada gambar 8. Kinerja menurun sejalan dengan pertambahan jumlah user yang aktif secara bersamaan. Kemudian, dengan semakin besarnya nilai *code weight* (w) maka kinerja dari sistem *Hybrid* tersebut menjadi lebih baik. Sehingga kebutuhan minimum Pe untuk aplikasi tertentu pada LAN dapat dicapai dengan mengatur nilai *codeweighting* pada sistem.

V. KESIMPULAN

Paper ini telah mengusulkan suatu konsep dan kinerja dari sistem *hybrid* OCDMA/WDM untuk *local area network* (LAN). Sebuah LAN diharapkan mempunyai kapasitas bandwidth yang besar, akses yang mudah dan tingkat sekuriti yang tinggi. Dengan ketersediaan bandwidth pada fiber optik yang sangat besar, maka sistem *hybrid* OCDMA/WDM merupakan solusi yang terbaik untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan LAN tersebut. Paper ini telah membahas konsep dan kinerja dari sistem *hybrid* OCDMA/WDM. Selanjutnya telah dilakukan pembuatan simulasi numerik untuk mengetahui karakteristik kinerja sistem *hybrid* tersebut. Parameter-parameter simulasi telah direncanakan sesuai dengan kebutuhan kinerja kedua sistem tersebut. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kinerja sistem *hybrid* OCDMA/WDM akan menurun apabila jumlah user yang aktif bertambah. Kinerja OCDMA/WDM sangat dipengaruhi oleh nilai *codeweighting* dari OOC yang digunakan pada sistem OCDMA, dimana semakin besar nilai *codeweighting* yang digunakan semakin baik kinerja sistem. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa performasi sistem *hybrid* jauh lebih baik dibandingkan dengan performasi OCDMA atau WDM. Sehingga sistem *hybrid* OCDMA/WDM bisa menjadi alternatif teknologi LAN pada domain optik yang mampu meningkatkan kapasitas bandwidth, akses yang fleksibel dan tingkat sekuriti akan lebih tinggi. Sistem ini menggunakan kode yang unik pada OCDMA digabungkan dengan panjang gelombang yang berbeda pada sistem WDM untuk trafik jaringannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Choi, K. Hosoya, C G Lee, M. Hanawa dan C. Park, "A hybrid WDM/OCDMA ring with a dynamic add/drop function based on Fourier code for local area networks", OPTICS EXPRESS, vol. 19, No. 7, pp. 6243-6252, 2011.
- [2] Nasaruddin and Tetsuo Tsujioka, "Simulation and Noise Analysis of Multimedia Transmission in Optical CDMA Computer Networks," ITB Journal of ICT vol. 3, no. 2, pp. 89-108, Nov. 2009.
- [3] Nasaruddin and T. Tsujioka, "Multiple-length variable-weight optical orthogonal codes for supporting multirate multimedia services in optical CDMA networks," IEICE Trans. Commun., vol. E90-B, no. 8, pp. 1968-1978, Aug. 2007.
- [4] Y. Liwei, Q. Zongjue, S. Guochu, dan H. Yihong, "OCDMA-WDM-PON Solution Path To Next Generation Optical Access Network". Dynamics of Continuous, Discrete and Impulsive Systems, series B, pp. 537-546, 2008.

TABEL I
PARAMETER-PARAMETER SIMULASI NUMERIK [7].

Parameter	Unit
Jumlah user OCDMA (M)	50 user
Jumlah user WDM (L)	50 user
Panjang kode OOC (n)	601
Codeweighting (w)	4
Durasi bit (D)	50 s
Daya Puncak OCDMA (X)	4 mw
Daya Puncak WDM (Y)	8 mw
Threshold (Th)	4
Maksimum Jumlah Panjang Gelombang WDM (No)	128

- [5] W. Xu, W. Naoya, T. Miyazaki, G. Cincotti, dan K. Ken-ichi, "Hybrid WDM/OCDMA for Next Generation Access Network", Invited Paper, vol 6783, pp. 1-14, 2007.
- [6] S. Hendrique, "Photodetector Noise and Receivers", MIEEC EEC038, pp. 1-15, 2008.
- [7] C. Po-Hao, C. Hung-Shiang dan C. Jun-Ren, "Design of a Hybrid OCDMA/WDMA System by Using Multi-slot OCDMA", Department of Electrical Engineering, vol 1(2), pp. 530-535, 2006.
- [8] P. Shaban, C. Chris, Y. Rupert, dan B. Philip, "Analysis of a WDM System for Tanzania", World Academy of Science, Engineering and Technology, 2008.