

STUDI PENERAPAN DWDM-ROF UNTUK TRANSMISI SINYAL MULTI TEKNOLOGI AKSES NIRKABEL

Leanna Vidya Yovita¹, A. Ali Muayyadi², Erna Sri Sugesti³

^{1,2,3}Fakultas Elektro dan Komunikasi,, Institut Teknologi Telkom
¹leanna.vidya@gmail.com, ²aly@sttelkom.ac.id, ³ern@sttelkom.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi telekomunikasi secara pesat, termasuk teknologi akses nirkabel seperti WiMAX, Wi-Fi, dan WCDMA memungkinkan tiap area mengakomodasi bermacam-macam jenis teknologi tersebut. Multi teknologi yang ada dapat ditransmisikan secara bersama-sama dalam 1 *link fiber optic* sehingga *fiber optic* yang memiliki kapasitas yang besar tersebut dapat dimanfaatkan secara optimal. Penggabungan multi teknologi tersebut dilakukan dengan teknik *multiplexing-demultiplexing* menggunakan DWDM-RoF. Teknik ini harus dilakukan dengan tetap memperhatikan spesifikasi sistem masing-masing agar dapat menghasilkan kinerja yang maksimal. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan dan simulasi transmisi 3 jenis teknologi *wireless access* yaitu Wi-Fi, WiMAX, dan WCDMA dengan teknik DWDM-RoF dengan melibatkan gangguan-gangguan yang terjadi pada proses transmisi, yaitu *noise RIN* pada *laser*, *loss* pada *multiplexer* dan *demultiplexer* optik, *attenuasi*, *dispersi*, *scattering*, dan *four wave mixing* pada *link fiber optic*. Selain itu, juga memperhitungkan *noise* yang mengganggu pada *photodetector* di penerima, yaitu *surface dark current*, *leakage dark current* dan *multiplication noise*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa panjang *fiber optic* 40 km – 100 km mempengaruhi Eb/N0 yang dibutuhkan untuk mencapai BER tertentu. Makin panjang *fiber*, makin besar Eb/N0 yang dibutuhkan. Pada jarak 100 km, performansi WiMAX menurun secara drastis dibandingkan WCDMA dan Wi-Fi. Performansi sistem secara keseluruhan dibatasi oleh performansi sistem WiMAX. Untuk pengujian terhadap teknologi WCDMA, Wi-Fi, dan WiMAX dengan DWDM dengan 3 panjang gelombang dan non DWDM memberikan perbedaan Eb/N0 yang tidak signifikan untuk mencapai BER tertentu. Dari simulasi juga diketahui bahwa gangguan *scattering* memberikan pengaruh yang paling besar bagi WCDMA, Wi-Fi, dan WiMAX jika dibandingkan pengaruh lainnya pada *fiber optic*.

Kata Kunci: DWDM, RoF, WCDMA, Wi-Fi, WiMAX, absorpsi, dispersi, scattering, FWM, akses nirkabel

Abstract

The rapid development of telecommunication technologies such as WiMAX, WCDMA, and Wi-Fi has enabled any locality to accommodates some kind of technology. Several technologies in fact can be transmitted in a single fiber optic, so that fiber optic with big capacity can be used optimally. Technologies are bundled with multiplexing-demultiplexing techniques. Notice that system specification must be good in order to produce the maximal performance. In this research, simulation and modelling were conducted to transmit 3 kinds of wireless access technologies, i. e. WCDMA, Wi-Fi, and WiMAX with DWDM-RoF technique, including transmission interferences from RIN (on laser), multiplexer and demultiplexer losses, attenuation, dispersion, scattering, and four wave mixing in fiber optic link. Noises in photodetector, such as surface dark current, leakage dark current and multiplication noise were also taken into account. The simulation result showed that fiber optic length of 40-100km influenced the required Eb/N0 to reach certain value of BER. The longer fiber optic, the bigger Eb/N0 needed. In fiber optic length of 100 km, performance of WiMAX had a significant decrease compared to WCDMA and Wi-Fi. The overall system performance was limited by WiMAX performance. Experiment on WCDMA, Wi-Fi, and WiMAX with DWDM and non DWDM techniques showed that both performances were not significantly different. Another result from simulation showed that scattering gave biggest influence to WCDMA, Wi-Fi and WiMAX systems, compared to other effects in fiber optic.

Keywords: DWDM, RoF, WCDMA, Wi-Fi, WiMAX, absorption, dispersion, scattering, FWM, wireless access

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi telekomunikasi secara pesat, termasuk teknologi akses nirkabel seperti WiMAX, Wi-Fi, dan WCDMA memungkinkan tiap

area/ daerah mengakomodasi atau menggunakan bermacam-macam teknologi tersebut. Dan saat ini teknologi tersebut ditransmisikan masing-masing melalui media transmisi udara. Di sisi lain, jaringan *backbone* kebanyakan menggunakan *fiber optic* di

mana jaringan yang berkapasitas besar ini belum dimanfaatkan secara efisien. Dari seluruh kapasitas yang tersedia baru digunakan sebagian kecilnya saja.

Untuk meningkatkan efisiensi *fiber optic* yang telah tersedia namun tetap mempertimbangkan bahwa setiap daerah mungkin saja tidak hanya menggunakan 1 jenis teknologi saja, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui performansi teknologi DWDM-RoF, di mana multi teknologi yang ada, dalam hal ini WiMAX, Wi-Fi, dan WCDMA ditransmisikan secara bersama-sama dalam 1 *link fiber optic* sehingga *fiber optic* yang memiliki kapasitas yang besar tersebut dapat dimanfaatkan secara optimal. Penelitian ini turut memperhatikan gangguan-gangguan yang terjadi selama transmisi di *fiber optic*.

2. Radio over Fiber dan Teknologi Nirkabel

2.1 Radio over Fiber

Radio over Fiber menggunakan *link fiber optic* untuk mendistribusikan frekuensi radio (RF, IF, maupun baseband) dari sentral (*headend*) ke *Remote Antenna Unit* (RAU). Pada komunikasi sistem *narrowband* dan WLAN, sinyal RF diproses *up-conversion*, *carrier modulation*, dan *multiplexing* pada bagian *Base Station*-nya dan kemudian disalurkan ke antena.

2.2 Dense Wavelength Division Multiplexing

Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) merupakan WDM dengan *channel spacing* kurang dari 200GHz atau kurang dari 6nm. Sistem komersial dapat menyediakan kapasitas lebih dari 32 kanal pada DWDM dan tiap kanalnya dapat mengakomodasi > 80Gb/s [15].

2.3 Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) merupakan sistem BWA (*Broadband Wireless access*) yang memiliki kemampuan *interoperability* antar perangkat yang berbeda. WiMAX dirancang untuk dapat memberikan layanan *Point to Multipoint* (PMP) maupun *Point to Point* (PTP). Dengan kemampuan pengiriman data hingga 10 Mbps/user.

2.4 Wireless Fidelity (Wi-Fi)

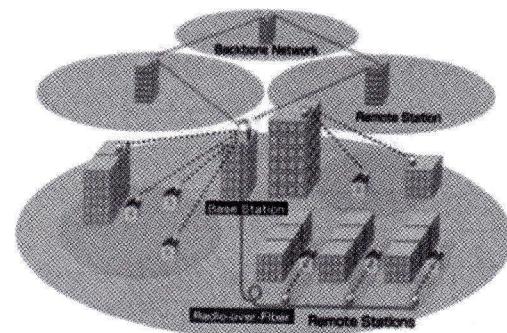
Wi-Fi adalah standar berdasarkan 802.11 dan digunakan untuk *Local Area Network*. Saat ini sistem Wi-Fi yang berdasarkan 802.11 a/g men-support *peak data rate* 54 Mbps dan menyediakan *coverage indoor* sejauh 30,48 meter. Beberapa tahun yang lalu, Wi-Fi ini digunakan di area *outdoor* sehingga aplikasinya menjadi *overlap* dengan WiMAX *fixed* maupun *nomadic* [1].

2.5 Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) [13]

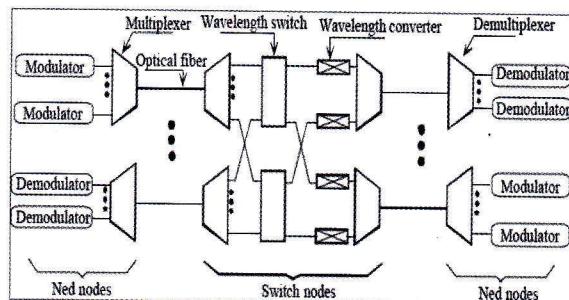
W-CDMA merupakan sistem DS-CDMA, dimana bit informasi *user* disebarluhan melalui suatu *bandwidth* yang lebar dengan cara *me-multiply* data *user* dengan bit-bit *quasi random* yang disebut *chip* yang berasal dari kode sebaran CDMA. Pada dasarnya *bandwidth* pembawa yang lebar mendukung pelayanan untuk *user* dengan kecepatan data yang tinggi dan juga mempunyai kelebihan – kelebihan tertentu seperti *multipath diversity*. Intinya operator jaringan bisa menyebarkan *carrier* sebesar 5 MHz untuk menambah kapasitas. Teknologi ini dipakai sebagai sebuah standar oleh ITU dengan nama "IMT-2000 direct spread." Teknologi ini digunakan dalam 3G-UMTS dengan kecepatan data mencapai 2 MBps (*indoor*), dan 384 Kbps (*outdoor*) yang dapat melayani pengiriman *voice*, *data*, dan *video* untuk layanan *mobile* internet.

3. Pemodelan Sistem

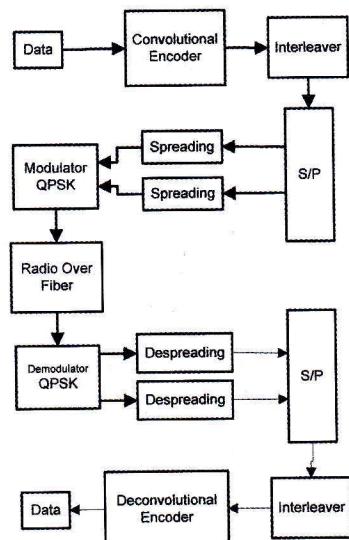
Karena keterbatasan simulator, simulasi ketiga teknologi secara dilakukan pada level *baseband*. Frekuensi yang menjadi spesifikasi masing-masing teknologi berperan dalam menentukan gangguan yang dirasakan oleh masing-masing sinyal yang ditransmisikan. Untuk menghasilkan jumlah bit yang diinginkan dalam simulasi digunakan metode *Monte Carlo* dimana simulasi dilakukan dengan mengatur jumlah iterasi, di mana pada setiap iterasi jumlah bit yang ditransmisikan sama.



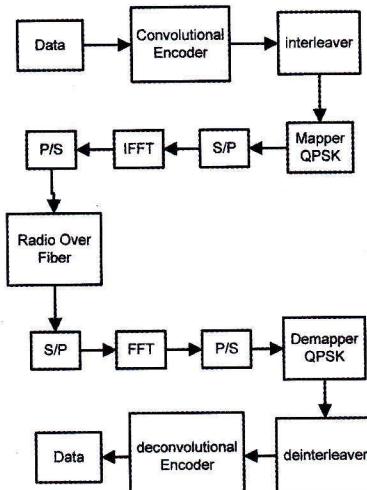
Gambar 1. Contoh Radio over Fiber
[googlepic:www.ict-foton.eu]



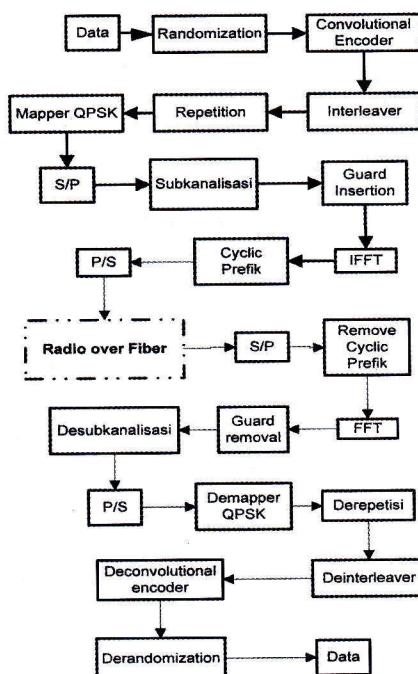
Gambar 2. Komponen Utama Jaringan DWDM [11]



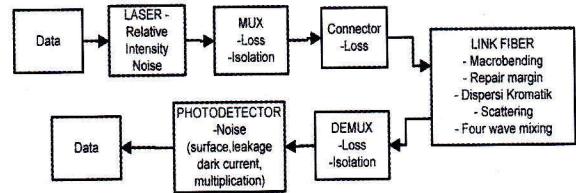
Gambar 3. Blok Sistem WCDMA [13]



Gambar 4. Blok system Wi-Fi [2]



Gambar 5. Blok Sistem WiMAX [12]



Gambar 6. Blok Sistem Fiber Optic

Tabel 1. Parameter Simulasi WCDMA

Parameter	Nilai	Satuan
Interleaver	4 x 4	-
Jumlah user	1	-
FEC	Convolutional code R=1/2	-
Frekuensi RF	2	GHz
Mapper	QPSK	-
Frekuensi optik	192,1	THz

Tabel 2. Parameter Simulasi Wi-Fi

Parameter	Nilai	Satuan
Jumlah Subcarrier	64	-
Frekuensi RF	2,4	GHz
Interleaver	8 x 4	-
FEC	Convolutional code R=1/2	-
Mapper	QPSK	-
Frekuensi optik	192,2	THz
Jumlah User	1	-

Tabel 3. Parameter Simulasi WiMAX

Parameter	Nilai	Satuan
Frekuensi RF	3,5	GHz
Subchannelization	PUSC	-
Repetition	Repetition Coding =2	-
Interleaver	Ukuran blok, Ncbps = 1024	-
FEC	Convolutional coding =1/2	-
Jumlah user	1	-
Frekuensi Optik	192,3	THz

3.1 Sistem WCDMA

Pada penelitian ini, sistem WCDMA yang dirancang dimodelkan oleh blok diagram yang ditunjukkan pada Gambar 3. Dan Parameter simulasi yang digunakan seperti pada Tabel 1.

3.2 Sistem Wi-Fi

Sistem Wi-Fi yang dirancang dalam penelitian ini sesuai dengan blok sistem pada Gambar 4, dan parameter sistem dapat dilihat pada Tabel 2.

3.3 Sistem WiMAX

Sistem WiMAX yang dirancang dalam penelitian ini sesuai dengan blok sistem pada Gambar 5, dan parameter sistem dapat dilihat pada Tabel 3.

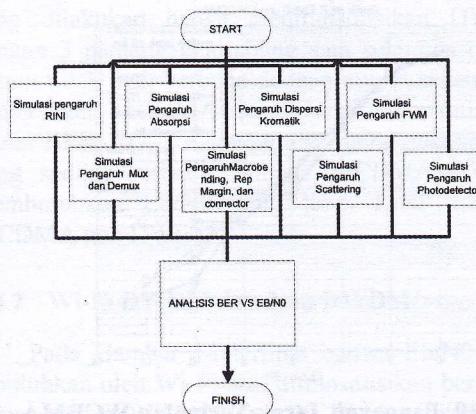
3.4 Sistem Fiber Optik

Sistem fiber optik yang dirancang dalam penelitian ini sesuai dengan blok sistem pada Gambar 6.

Parameter sistem *fiber optic* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter Simulasi Fiber Optic

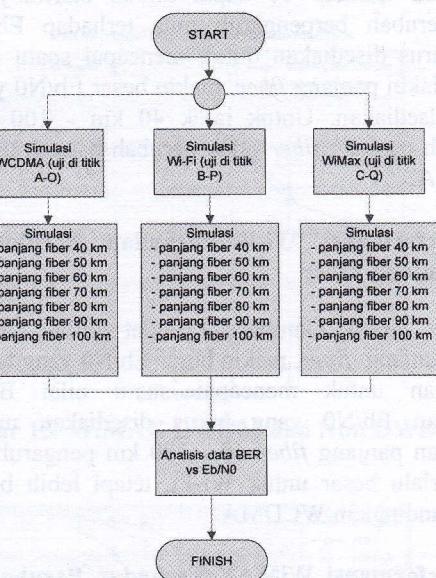
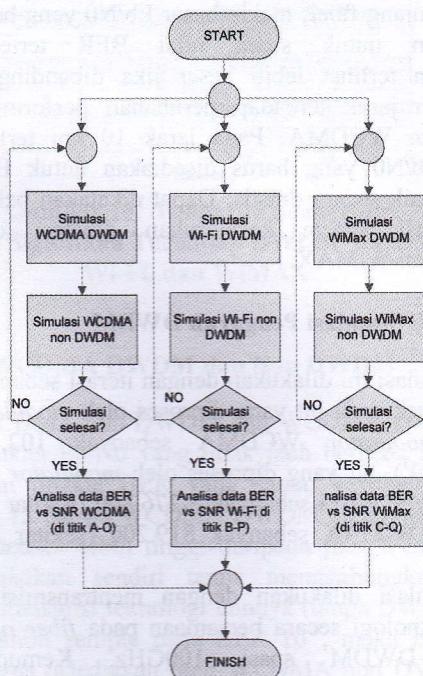
Parameter	Nilai	Satuan
Noise RIN [6]	AWGN	-
Mux dan Demux		
a. Insertion loss		
b. Adjacent channel isolation	1,6 30	dB
c. Non adjacent channel isolation	45	dB
Loss connector [17]	0,75	dB
Loss macrobending [6]	0,05	dB
Repair Margin [17]	0,6	dB
Loss Splicing (setiap 70 km) [18]	0,1	dB
Scattering [6]	Rayleigh	-
Four Wave Mixin	Melibatkan 3 panjang gelombang	-
Panjang fiber	40; 50; 60; 70; 80; 90; 100	km

**Gambar 9. Flowchart Simulasi Pengaruh Gangguan pada FO**

3.5 Komponen Gangguan Link FO

Komponen gangguan yang dilibatkan dalam penelitian ini adalah:

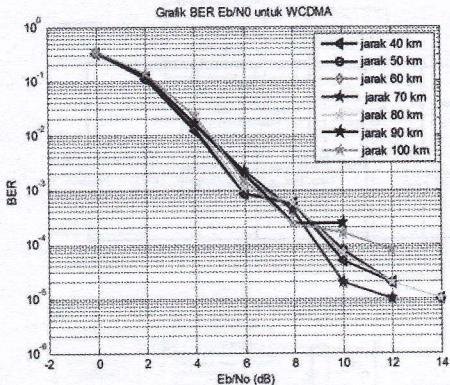
- Pada Laser: *Relative Intensity Noise*
- Pada *multiplexer* optik:
 - Insertion loss*
 - Adjacent channel isolation*
 - Non-adjacent channel isolation*
- Pada *Link fiber optic*:
 - Absorpsi
 - Loss connector*
 - Loss macrobending*
 - Repair margin*
 - Loss splicing*
 - Dispersi kromatik
 - Scattering*
 - Four wave mixing*
- Pada *demultiplexer* optik:
 - Insertion loss*
 - Adjacent channel isolation*
 - Non-adjacent channel isolation*
- Pada *photodetector*: noise photodetector yang mencakup *surface dark current*, *leakage dark current*, dan multiplikasi.

**Gambar 7. Flowchart Simulasi Perubahan Panjang Fiber Optic****Gambar 8. Flowchart Simulasi DWDM dan Non DWDM**

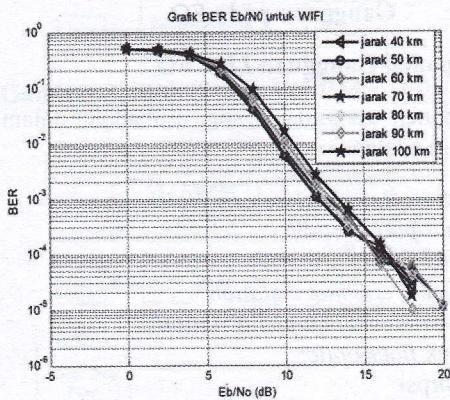
3.6 Skenario simulasi

Ada 3 skenario yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu:

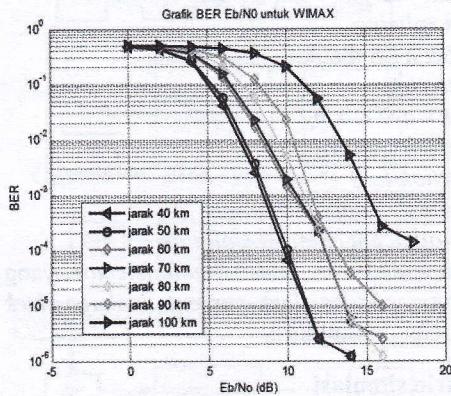
- Skenario 1 dilakukan untuk melihat performansi sistem DWDM-RoF berdasarkan perbedaan panjang *fiber optic*. Dalam hal ini, akan dianalisis performansi sistem untuk panjang *fiber* 40 km, 50 km, 60 km, 70 km, 80 km, 90 km, dan 100 km.
- Skenario 2 dilakukan untuk melihat performansi sistem untuk transmisi WCDMA, Wi-Fi dan WiMAX dengan DWDM dan non DWDM.
- Skenario 3 dilakukan untuk melihat pengaruh setiap gangguan yang terjadi pada pengiriman informasi. Skenario dilakukan untuk setiap teknologi, yaitu WCDMA, Wi-Fi, dan WiMAX.



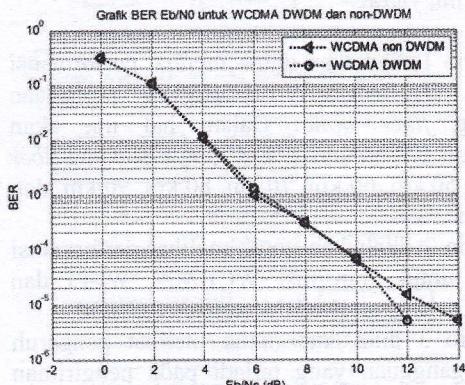
Gambar 10. Pengaruh Jarak Terhadap WCDMA



Gambar 11. Pengaruh Jarak Terhadap Wi-Fi



Gambar 12. Pengaruh Jarak Terhadap WiMAX



Gambar 13. WCDMA DWDM dan Non DWDM

4. Analisis dan Hasil Simulasi

4.1 Performansi WCDMA dengan Perubahan Panjang Fiber

Simulasi dilakukan dengan kurang lebih 800 kali, di mana jumlah bit input yang diproses *modulator* dan *demodulator* WCDMA sebanyak 102.400 ($\pm 10^5$). Jumlah bit input yang diproses *modulator* dan *demodulator* WiFi sebanyak 3.276.800 ($\pm 3 \times 10^6$) dan jumlah bit input yang diproses oleh *modulator* dan *demodulator* WiMAX sebanyak 819.200 ($\pm 8 \times 10^5$).

Pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa jarak yang berubah berpengaruh pula terhadap Eb/N0 yang harus disediakan untuk mencapai suatu nilai BER. Makin panjang *fiber*, makin besar Eb/N0 yang harus disediakan. Untuk jarak 40 km - 100 km, pengaruh panjang *fiber* tidak berubah banyak untuk WCDMA.

4.2 Performansi Wi-Fi terhadap Perubahan Panjang Fiber

Dari grafik Gambar 11 dapat dilihat bahwa makin panjang *fiber*, makin besar Eb/N0 yang harus disediakan untuk mencapai suatu nilai BER. Perbedaan Eb/N0 yang harus disediakan untuk perubahan panjang *fiber* 40 - 100 km pengaruhnya tidak terlalu besar untuk Wi-Fi, tetapi lebih besar jika dibandingkan WCDMA.

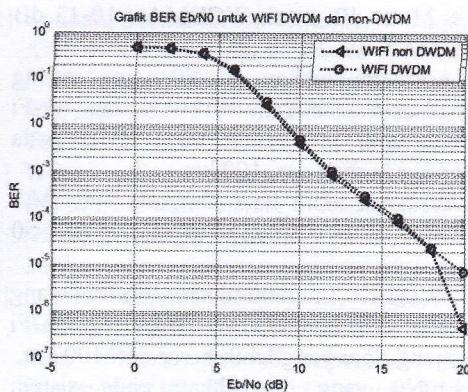
4.3 Performansi WiMAX Terhadap Perubahan Panjang Fiber

Dari grafik Gambar 12 dapat dilihat bahwa makin panjang *fiber*, makin besar Eb/N0 yang harus disediakan untuk suatu nilai BER tertentu. Perubahan terlihat lebih besar jika dibandingkan perubahan jarak terhadap perubahan performansi Wi-Fi dan WCDMA. Pada jarak 10 km terlihat bahwa Eb/N0 yang harus disediakan untuk BER tertentu naik secara drastis. Dapat dikatakan bahwa performansi sistem keseluruhan dibatasi oleh performansi WiMAX.

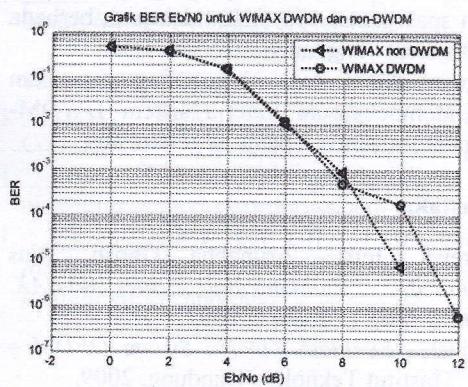
4.4 Hasil Simulasi Pengaruh DWDM

Simulasi ini dilakukan dengan iterasi sebanyak 800 kali sehingga bit yang diproses oleh *modulator* dan *demodulator* WCDMA sebanyak 102.400 (sekitar 10^5), bit yang diproses oleh *modulator* dan *demodulator* WiFi sebanyak 3.276.800 (sekitar 3×10^6) dan WiMAX sebanyak 819.200 (sekitar 8×10^5).

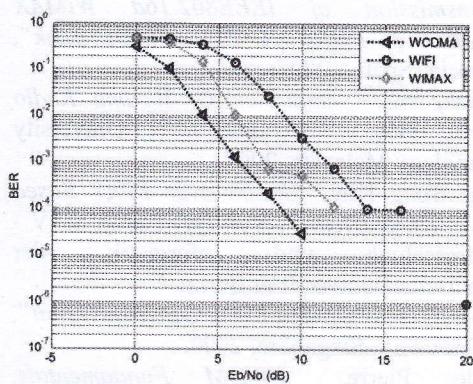
Simulasi dilakukan dengan mentransmisikan ketiga teknologi secara bersamaan pada *fiber optic* dengan DWDM spasi 100GHz. Kemudian disimulasikan pula jika masing-masing teknologi ditransmisikan melalui *fiber optic* (non DWDM).



Gambar 14. Wi-Fi DWDM dan Non DWDM



Gambar 15. WiMAX DWDM dan Non DWDM



Gambar 16. Pengaruh Scattering Paling Signifikan Terhadap DWDM WCDMA, WiFi, dan WiMAX

4.4.1 WCDMA DWDM dan Non DWDM

WCDMA non DWDM dan WCDMA DWDM memerlukan Eb/N0 yang tidak jauh berbeda untuk mencapai tingkat BER yang sama. Terlihat pada Gambar 13 bahwa WCDMA DWDM membutuhkan Eb/N0 sedikit lebih tinggi daripada jika WCDMA ditransmisikan sendiri tanpa menggabungkannya dengan transmisi teknologi lainnya (tanpa DWDM). Jika diambil sample pada BER 10⁻³, maka Eb/N0 yang harus disediakan oleh WCDMA non DWDM adalah 6 dB dan untuk WCDMA DWDM sebesar 6.4dB. Hal ini bisa disebabkan karena pada simulasi

yang dilakukan hanya mentransmisikan DWDM dengan 3 panjang gelombang saja sehingga output sistem tidak jauh berbeda dengan output sistem saat hanya ada WCDMA saja yang ditransmisikan. Mulai BER 10^{-4.4} ke atas, grafik menunjukkan pola yang sedikit berbeda, dimana WCDMA DWDM membutuhkan Eb/N0 yang lebih kecil daripada WCDMA non DWDM.

4.4.2 Wi-Fi DWDM dan Non DWDM

Pada Gambar 14 terlihat bahwa Eb/N0 yang dibutuhkan oleh Wi-Fi saat ditransmisikan bersama-sama dengan WiMAX dan WCDMA sedikit lebih tinggi jika dibandingkan dengan Eb/N0 yang dibutuhkan saat Wi-Fi ditransmisikan sendiri tanpa DWDM. Kondisi ini cenderung stabil untuk pengujian terhadap keseluruhan Eb/N0. Untuk BER di atas 10^{-4.9} selisih Eb/N0 antara WiFi non DWDM dan DWDM semakin besar.

4.4.3 WiMAX DWDM dan Non DWDM

Pada grafik Gambar 15, WiMAX non DWDM dan WiMAX DWDM membutuhkan Eb/N0 yang tidak berbeda jauh pula. Di sekitar BER 10⁻¹ sampai dengan 10⁻² WiMAX non DWDM membutuhkan Eb/N0 yang lebih kecil daripada WiMAX DWDM. Grafik bergeser pada 10⁻³ sampai dengan 10^{-3.5}. Selisih terbesar mencapai 1,2 dB.

Jika diperhatikan polanya, terlihat bahwa sistem DWDM dan non DWDM membutuhkan nilai Eb/N0 yang hampir sama. Hal ini dapat disebabkan karena simulasi dilakukan hanya untuk DWDM-RoF dengan 3 panjang gelombang saja, sehingga belum berpengaruh secara signifikan terhadap Eb/N0 yang dibutuhkan, dibandingkan dengan transmisi tanpa DWDM. Dapat dikatakan bahwa DWDM-RoF baik digunakan untuk mentransmisikan 3 panjang gelombang yang berbeda karena tidak membutuhkan Eb/N0 yang jauh lebih besar dibandingkan sistem non DWDM, ditambah keuntungan bahwa DWDM-RoF dengan 3 panjang gelombang ini dapat mentransmisikan informasi secara lebih efisien.

4.5 Pengaruh Gangguan pada Fiber Optik

Jika sistem hanya mendapat pengaruh noise RIN, untuk mencapai BER 10⁻³ dibutuhkan Eb/N0 untuk sistem WCDMA sebesar 2,9 dB, untuk WiMAX sebesar 3,7 dB dan untuk Wi-Fi sebesar 6,3 dB. Mulai BER 10^{-3.9}, Eb/N0 yang dibutuhkan WiMAX lebih kecil daripada WCDMA.

Untuk mencapai BER 10⁻³, sistem WCDMA yang mendapat pengaruh gangguan dari *multiplexer* dan *demultiplexer* memerlukan Eb/N0 2,5 dB. WiMAX membutuhkan 3,875 dB dan Wi-Fi memerlukan Eb/N0 7 dB.

Ketika mendapat hanya pengaruh absorpsi, untuk mencapai BER 10⁻³ WCDMA membutuhkan Eb/N0 2,44 dB, Wi-Fi membutuhkan Eb/N0 6,167

dB dan WiMAX membutuhkan Eb/N0 sebesar 4 dB. Pengaruh terhadap WCDMA dan Wi-Fi tidak sebesar pengaruh oleh *multiplexer* dan *demultiplexer* serta RIN. Pada WiMAX, Eb/N0 yang harus disediakan meningkat jika dibandingkan pengaruh 2 gangguan sebelumnya.

Pengaruh *loss* karena *macrobending*, *repair margin*, konektor dan *splicing* bagi Wi-Fi dan WiMAX mirip dengan pengaruh karena RIN. Namun, bagi WCDMA pengaruh *loss* ini menyebabkan sistem harus menyediakan Eb/N0 yang lebih tinggi dibandingkan Eb/N0 yang harus disediakan untuk mencapai BER 10^{-3} jika mendapat pengaruh *noise* RIN, gangguan di *multiplexer* dan *demultiplexer*, serta pengaruh absorpsi.

Jika hanya mendapat gangguan karena dispersi kromatik, WCDMA membutuhkan Eb/N0 3,6 dB, Wi-Fi membutuhkan Eb/N0 sebesar 6,2 dB dan WiMAX membutuhkan Eb/N0 4 dB. Bagi Wi-Fi dan WiMAX, pengaruh yang dirasakan hampir sama dengan pengaruh karena absorpsi, tetapi pada WCDMA, dispersi kromatik memberikan pengaruh lebih besar.

Jika hanya mendapat gangguan karena scattering untuk mencapai BER 10^{-3} , WCDMA membutuhkan Eb/N0 6,16 dB, Wi-Fi membutuhkan Eb/N0 sebesar 11,83 dB dan WiMAX membutuhkan Eb/N0 7,6 dB. Pengaruh ini paling besar dirasakan dibandingkan pengaruh yang lainnya.

Pengaruh *Four Wave Mixing* menyebabkan WCDMA harus menyediakan Eb/N0 sebesar 2,77 dB untuk mencapai BER 10^{-3} , WiMAX membutuhkan Eb/N0 3,86 dB dan Wi-Fi membutuhkan Eb/N0 6,27 dB. FWM memberikan pengaruh yang hampir sama dengan pengaruh *macrobending*, *repair margin*, dan *loss connector* terhadap WiMAX dan Wi-Fi.

Pengaruh *photodetector* menyebabkan WCDMA harus menyediakan Eb/N0 2,89 dB, WiMAX 3,72 dB dan Wi-Fi 6,05 dB. Selisih Eb/N0 yang harus disediakan oleh Wi-Fi dan WiMAX makin kecil untuk BER 10^{-3} ke atas, hingga BER $10^{-5,7}$.

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Perubahan panjang *fiber optic* dari 40 km, 50 km, 60 km, 70 km, 80 km, 90 km, dan 100 km mempengaruhi kinerja sistem WCDMA, Wi-Fi, dan WiMAX. WCDMA dan Wi-Fi memiliki perubahan Eb/N0 yang kecil, sedangkan WiMAX lebih besar. Performansi sistem secara keseluruhan dibatasi oleh performansi WiMAX.
- WCDMA, WiMAX, dan Wi-Fi dapat ditransmisikan pada *fiber optic* dengan teknologi DWDM-RoF dan mencapai BER 10^{-5} pada nilai

$Eb/N0 \pm 11\text{-}14$ dB untuk WCDMA, 10-13 dB untuk WiMAX dan 18-20 dB untuk Wi-Fi.

- WCDMA membutuhkan Eb/N0 yang paling rendah, disusul kemudian WiMAX dan Wi-Fi untuk mencapai nilai BER yang sama pada panjang *fiber* kurang dari 100 km.
- Sistem WiMAX lebih baik daripada WCDMA untuk Eb/N0 ± 10 dB dan jarak kurang dari 50 km.
- Sistem WiMAX membutuhkan Eb/N0 yang paling besar dibandingkan WCDMA dan Wi-Fi pada panjang *fiber* yang lebih besar dari 100 km.
- Nilai Eb/N0 yang dibutuhkan pada sistem WCDMA, WiMAX, dan Wi-Fi dengan DWDM-RoF untuk transmisi 3 panjang gelombang dengan spasi kanal 100 GHz tidak jauh berbeda dengan sistem yang tanpa DWDM.
- Gangguan akibat *scattering* paling signifikan dalam mempengaruhi kinerja sistem DWDM-RoF untuk transmisi 3 panjang gelombang.

Daftar Pustaka

- [1] Andrews, Jefri., Arunabha Ghosh, Rias Muhamed, "Fundamentals of WiMAX". Prentice Hall", America, 2007.
- [2] Febrizal, "Evaluasi Kinerja Sistem OFDM - RoF", Institut Teknologi Bandung, 2009.
- [3] Francisca, M., C. Jaime, R. Antonio, P. Valentín, M. Alejandro, Z. David, M. Javier, "Transmission of IEEE802.16d WiMAX Signals over Radio-over-Fibre IMDD Link", Valencia (Spain), 2007.
- [4] Harliza, Siti, "Simulation Of Wcdma Radio Over Fiber Technology", University Technology Malaysia, 2007.
- [5] Hong Bong Kim, "Radio over Fiber Based Network Architectur", Von Der Fakultät IV - Elektrotechnik und Informatik -der Technischen Universität Berlin.
- [6] Keiser, Gerd, "Optical Fiber Communication", McGraw Hill, Singapore, 2000.
- [7] Laude, Pierre, "DWDM Fundamentals, Components, and Applications", Artech House, London, 2002.
- [8] Ng'oma, Anthony, "Radio-over-Fibre Technology for Broadband Wireless Communication Systems", Cip-Data Library Technische Universiteit Eindhoven. Netherland, 2005.
- [9] Opatic, D., "Radio over Fiber Technology for Wireless Access", Ericsson Nikola Tesla, Zagreb.
- [10] Paschotta, Rüdiger, "Encyclopedia of Laser Physics and Technology", http://www.rp-photonics.com/optical_fiber_communications.html, 2010.
- [11] Shaowen Song, "DWDM and The Future Integrated Services Network", IEEE Canadian review, 2000.

- [12] Solihah, Nomarhinta, "Analisa Perbandingan Kinerja Penggunaan Teknik Subkanalisisasi FUSC dan PUSC Pada Mobile WiMAX IEEE 802.16E arah Downlink", Institut Teknologi Telkom, 2009.
- [13] Wibowo, Tody Ariefianto, "Evaluasi Kinerja WCDMA Pada Sistem Radio Over Fiber (WCDMA-ROF)", Institut Teknologi Bandung, 2008.
- [14] I. Ya. Yaremchuk, V. M. Vitio, Ya. V. Bobitski, "Selective Unequal-Thickness Thin-Film Filters for IR Spectral Region", Semiconductor Physics, Quantum, Electronic & Optoelectronics, V. 11, N1, P 23-25, 2008.
- [15] _____, "Dense Wavelength Division Multiplexing", CommTel Network.
- [16] _____, "Fundamentals of DWDM Technology", Cisco
- [17] _____, "Link Loss Budget Worksheet", Corning Incorporated. 2011. www.corning.com
- [18] _____, "Mengenal Fiber Optik", <http://nurwidipriambodo.wordpress.com>
- [19] _____, "WDM and DWDM Multiplexing Applied Optoelectric Centre". Dublin Institute of Technology.