

SIMULASI DAN ANALISIS DISTORSI SINYAL SISTEM GANDA LTE-WCDMA MELALUI LINK SERAT OPTIK

SIMULATION AND ANALYSIS DISTORTION OF DUAL SYSTEM LTE-WCDMA SIGNALS OVER OPTICAL FIBER LINK

Aldrin Fakhri Azhari¹, Akhmad Hambali, Ir., MT.², Uke Kurniawan Usman, Ir., MT.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹ aldrinazhari@students.telkomuniversity.ac.id ² ahambali@telkomuniversity.ac.id ³ ukeusman@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Penggunaan sistem RoF sebagai pendistribusi sinyal sistem ganda LTE-WCDMA dipercaya memiliki keunggulan dibandingkan dengan sistem distribusi biasa menggunakan kabel tembaga. Akan tetapi, ketidaklinearan perangkat-perangkat pada sistem RoF membuat kualitas transmisi menurun. Penelitian mengenai pengaruh ketidaklinearan sistem RoF terhadap sinyal sistem ganda LTE-WCDMA perlu dilakukan agar dapat dirancang sistem yang optimal.

Penelitian ini berfokus pada pengaruh *frequency chirping* laser, dispersi dan FWM pada serat terhadap sinyal sistem ganda LTE-WCDMA. Penelitian dilakukan dengan membuat simulasi sistem RoF untuk sistem ganda LTE-WCDMA pada *software Optisystem 13*. Pengujian sistem dilakukan dengan cara mentransmisikan sinyal sistem ganda LTE-WCDMA pada sistem RoF dengan penyebab ketidaklinearan sistem yang berbeda-beda.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa distorsi sinyal terbesar diakibatkan oleh *frequency chirping* pada laser. Selain itu hasil pengujian menunjukkan bahwa laser dominan *adiabatic chirp* mempunyai kualitas lebih baik dibandingkan laser dominan *transient chirp*. Kemudian dari hasil pengujian ini juga diketahui bahwa penggunaan CWDM menghasilkan nilai SNR yang lebih baik daripada DWDM. Analisis peluang bit error (Pe) menunjukkan semua sistem RoF dengan dengan rancangan seperti proses pengujian layak digunakan karena nilai Pe dibawah 10^{-10} . Akan tetapi, untuk meningkatkan kualitas sinyal disarankan menggunakan laser dominan *transient chirp* dan CWDM dalam perancangan sistem.

Kata kunci : Ketidaklinearan RoF, LTE, WCDMA, *frequency chirping*, dispersi, FWM

Abstract

RoF system as distribution system in dual system LTE-WCDMA is believed having advantage rather than usual distribution which use copper wire. However nonlinearity in RoF devices make quality of transmission decreasing. Research about effect of RoF nonlinearities to dual system LTE-WCDMA signals is necessary to do, so that system can be designed optimally.

This research focus on effect of laser frequency chirping, disperse, and FWM to dual system LTE-WCDMA signals. Laser frequency chirping, disperse, and FWM are nonlinearity components in RoF system. Research is done by making simulation of RoF system for dual system LTE-WCDMA in *Optisystem 13*. System examinations are done by transmitting dual system LTE-WCDMA signals in RoF system which has different nonlinearity components.

The result shows that the biggest contribution of signals distortion comes from laser frequency chirping. In this project. And then from the result shows that The use of adiabatic chirp dominant laser is better than transient chirp dominant laser. The result shows also that use of CWDM is better than DWDM. Anyhow, probability of error bits analysis shows that all RoF examination systems have good quality because they have probability of error bits value under 10^{-10} . But to gain the best system design in RoF system for dual system LTE-WCDMA, it's recommended to use laser transient chirp dominant as its laser and CWDM as its multiplexing method.

Keywords : RoF Nonlinearity, LTE, WCDMA, *frequency chirping* laser, dispersi, FWM

1. Pendahuluan

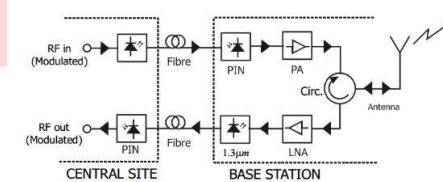
Perkembangan teknologi komunikasi seluler telah sampai pada hadirnya teknologi LTE yang menawarkan efisiensi spektrum dan kecepatan data yang lebih baik dari teknologi sebelumnya yaitu WCDMA. Keunggulan yang dimiliki LTE tentu menarik pengguna maupun penyedia layanan untuk menggunakannya. Pada tahap awal penerapan teknologi LTE, penyedia layanan sebaiknya mempertimbangkan untuk menggunakan BTS WCDMA yang telah ada juga sebagai BTS LTE. Hal ini dilakukan guna menekan biaya pembangunan infrastruktur. Pemanfaatan BTS yang telah ada untuk penyediaan layanan LTE dan WCDMA secara simultan dikenal dengan sistem ganda LTE-WCDMA[4].

Sistem ganda LTE-WCDMA menggunakan sistem RoF sebagai pendistribusi sinyal RF dari BTS ke RAU. Penggunaan teknologi RoF untuk sistem komunikasi *broadband wireless* memiliki batasan akibat ketidaklinearan perangkat-perangkat yang digunakan pada sistem RoF. Penelitian mengenai seberapa besar efek ketidaklinearan RoF terhadap kualitas kerja dari suatu sistem komunikasi *wireless* perlu dilakukan agar sistem tersebut dapat dirancang dengan baik.

Penelitian ini dilakukan dengan membuat simulasi sistem RoF yang digunakan pada sistem ganda LTE-WCDMA. Simulasi sistem dilakukan dengan menggunakan *software* simulasi Optisystem 13. Sumber distorsi pada sistem RoF yang telah disebutkan juga dimasukkan pada simulasi sistem ini. Kemudian simulasi sistem diuji dengan cara mengirimkan sinyal ganda LTE-WCDMA pada sistem RoF dengan jenis karakteristik perangkat yang berbeda. Analisis hasil uji simulasi sistem dibuat dengan memperhatikan pengaruh nilai parameter ketidaklinearan sistem RoF terhadap nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang merupakan ukuran kualitas transmisi. Sumber distorsi sinyal yang diteliti pada penelitian ini dibatasi pada *frequency chirping* laser dioda serta dispersi dan efek *Four Wave Mixing* (FWM) pada serat optik. Hal ini dilakukan karena sumber distorsi tersebut memberikan kontribusi distorsi yang cukup besar dibanding sumber distorsi lainnya pada sistem RoF [12].

2. Radio Over Fiber

Radio over Fiber (RoF) adalah teknologi yang menggunakan *link* serat optik untuk mendistribusikan Sinyal RF dari *Base Station* (BS) ke *Remote Antenna Unit* (RAU). Di dalam sistem komunikasi *narrowband* dan WLAN, fungsi pemrosesan sinyal RF seperti *up-down conversion* frekuensi, modulasi *carrier* dan multiplexing, dilakukan di BS. Kemudian sinyal RF dimasukkan ke antena untuk dipancarkan ke pengguna melalui udara.



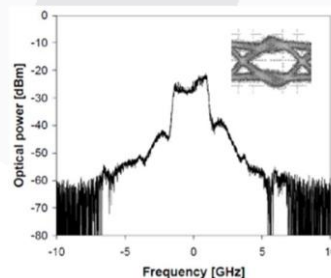
Gambar 1. Pemodelan sederhana sebuah sistem RoF[2]

3. Sumber Distorsi Pada Sistem Radio over Fiber

Sistem RoF pada penelitian ini memiliki beberapa sumber distorsi yang terjadi dalam proses pengiriman sinyal, *multiplexing* sinyal, penalaran sinyal dalam serat optik, serta penerima sinyal. Semua sumber distorsi tersebut akan dimodelkan dengan menggunakan pendekatan matematis.

3.1 Sumber Distorsi Pada Pengirim

Penggunaan teknik IM-DD dengan modulasi langsung menggunakan *Laser Diode* (LD) akan memodulasi sinyal pada frekuensi yang diinginkan. Akan tetapi akibat ketidaklinearan LD, sinyal yang termodulasi akan memiliki banyak variasi panjang gelombang, hal ini disebut sebagai *frequency chirping laser*.



Gambar 2. *Frequency Chirping* Laser [16]

Frequency chirping pada modulasi langsung menggunakan LD dimodelkan dalam persamaan matematis sebagai berikut [9]:

$$\phi = \frac{\alpha}{2\pi} \ln \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (1)$$

dimana α adalah *alpha parameter*, κ adalah koefisien *adiabatic chirp*, P adalah daya keluaran dari LD. *Frequency chirping* terjadi akibat adanya *transient chirp* ($\kappa = 0$) dan *adiabatic chirp* ($\kappa \neq 0$). *Transient chirp* dan *adiabatic chirp* dimodelkan sebagai berikut[9]:

$$\phi = \frac{\alpha}{2\pi} \ln \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (2)$$

TK

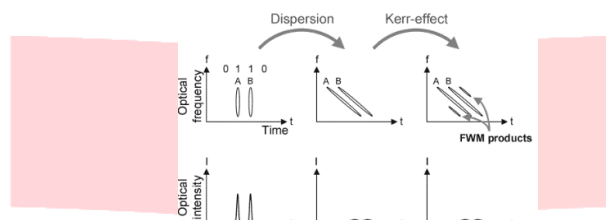
(3)

Sinyal keluaran LD yang terdapat pengaruh *frequency chirping* dimodelkan dengan menggunakan persamaan berikut[9]:

$$\exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{\omega - \omega_0}{\Delta\omega} \right)^2 \right) \quad (4)$$

3.2 Sumber Distorsi Pada Serat Optik

Penggunaan serat optik juga memberikan kontribusi terdistorsinya sinyal pada sistem RoF. Distorsi pada serat optik diakibatkan oleh adanya dispersi dan nonlinearitas serat optik. Pada serat optik *singlemode* dispersi yang terjadi adalah dispersi kromatik. Dispersi kromatik muncul akibat perbedaan kecepatan propagasi dari setiap komponen yang mempengaruhi spektrum radiasi sinyal. Dispersi kromatik akan mengakibatkan pelebaran pulsa sinyal. Selain dispersi, sumber distorsi pada serat disebabkan juga oleh ketidaklinearan serat. Ketidaklinearan pada serat terdiri atas dua jenis, yaitu *scattering* dan efek Kerr. Pada penelitian ini, ketidaklinearan yang diteliti adalah FWM yang merupakan salah satu jenis dari efek Kerr. FWM merupakan efek ketidaklinearan yang paling berpengaruh pada penelitian ini karena adanya penggunaan WDM pada sistem ini[20]. FWM adalah peristiwa munculnya sinyal pada frekuensi tertentu akibat penggabungan dua sinyal yang berbeda frekuensi dalam satu serat optik.



Gambar 3. Ilustrasi Distorsi Sinyal Pada Serat Optik [8]

Distorsi pada serat optik diilustrikan pada gambar 3. diatas. Dimana kondisi (a) adalah kondisi awal sinyal optik, kemudian kondisi (b) adalah kondisi sinyal yang terdistorsi akibat dispersi kromatik serat, sedangkan kondisi (c) adalah sinyal yang terdistorsi akibat efek Kerr berupa FWM.

Propagasi sinyal pada serat optik dimodelkan dalam bentuk matematis dengan menggunakan persamaan *Non-Linear Schrödinger Equation* (NLSE) sebagai berikut[15]:

$$\frac{\partial A}{\partial z} + \frac{1}{v_g} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{i}{2\beta_2} \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} + \gamma |A|^2 A = 0 \quad (5)$$

Dimana,

A adalah selubung pulsa dalam posisi z dan dalam waktu t ,
 $1/v_g$ adalah *first order dispersion* yang diakibatkan oleh PMD dan mengakibatkan delay pulsa
 $1/\beta_2$ adalah *second order dispersion* yang diakibatkan oleh dispersi kromatik dan mengakibatkan pelebaran pulsa,
 γ adalah koefisien redaman serat,
 L adalah panjang serat dan
 γ adalah koefisien nonlinear serat.

Pada persamaan NLSE pengaruh dispersi serat ditunjukkan pada bagian $\frac{\partial A}{\partial z} + \frac{1}{v_g} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{i}{2\beta_2} \frac{\partial^2 A}{\partial t^2}$. Untuk menyatakan pemodelan untuk propagasi sinyal pada serat optik yang dipengaruhi redaman dan dispersi kromatik saja, maka persamaan tersebut disederhanakan menjadi [10]:

$$\frac{\partial A}{\partial z} + \frac{1}{v_g} \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (6)$$

Sedangkan pada bagian $\gamma |A|^2 A$ menyatakan pemodelan untuk propagasi sinyal pada serat optik yang dipengaruhi oleh ketidaklinearan serat. Untuk menyatakan pemodelan ketidaklinearan serat akibat FWM saja, maka persamaan tersebut disederhanakan menjadi [10]:

$$\gamma |A|^2 A = 0 \quad (7)$$

3.3 Sumber Distorsi Pada Penerima

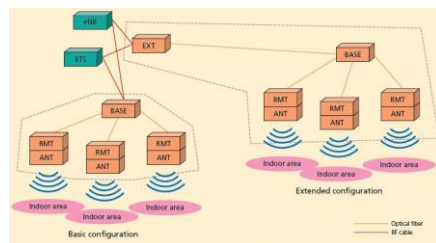
Penerima pada penelitian ini *photodiode* (PD) digunakan sebagai penerima optik. Untuk memodelkan penerima optik digunakan persamaan berikut[16]:

Dimana, R adalah responsivitas dari PD. (8)

4. Sistem Ganda LTE-WCDMA

Sistem Ganda LTE-WCDMA adalah suatu sistem yang dapat menggabungkan distribusi sinyal LTE dan WCDMA secara bersamaan menggunakan peralatan yang sama. Pada tahun 2010, NTT Docomo, perusahaan telekomunikasi di Jepang, adalah pihak yang pertama kali mengusulkan sistem ini sebagai sistem untuk menjembatani teknologi LTE dan WCDMA[4].

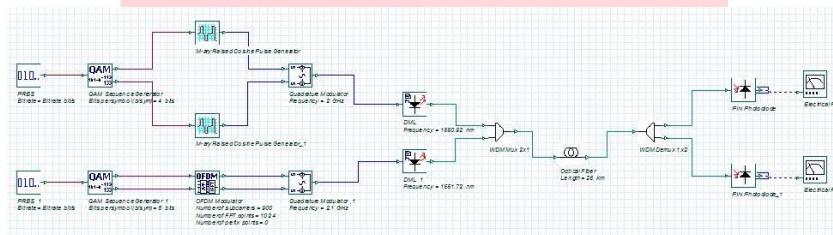
Pada sistem ini, *Distributed Antenna System* (DAS) dengan menggunakan antenna MIMO serta teknologi RoF digunakan untuk mendukung sistem ini agar dapat menjangkau area *indoor*. Secara sederhana sistem ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Untuk transmisi *downlink*, sinyal RF dari BTS WCDMA dan eNB LTE dikombinasikan pada suatu *Base* yang memiliki fungsi multipleksing. Kemudian ditransmisikan melalui media serat optik untuk selanjutnya dipancarkan oleh antenna.



Gambar 4. Model sistem RoF untuk sistem ganda LTE dan WCDMA [4]

5. Pemodelan dan Simulasi Sistem

Sistem RoF untuk sistem ganda LTE dan WCDMA dalam penelitian ini disimulasikan pada *Optisystem 13* seperti gambar 5 berikut:



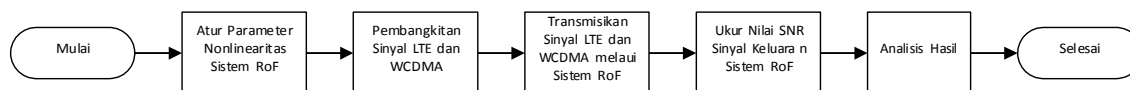
Gambar 5. Simulasi Sistem Pada *Optisystem 13*

Parameter simulasi yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 1. berikut ini:

Tabel 1. Parameter Simulasi

Parameter	Nilai
Modulasi	
a. WCDMA	a. 16 QAM
b. LTE	b. 64 QAM - OFDM
Maksimum Jarak Transmisi	25 km
RF Output Power	
a. WCDMA	a. 40 dBm
b. LTE	b. 45 dBm
Optical Transmission Rate	2.4883 Gbps
Frekuensi Carrier	2 GHz
Serat Optik	Singlemode ITU-T G.652 vendor PRYSMIAN
Laser	DFB Laser Modul 1751A by vendor EMCORE

Pengujian dilakukan dengan cara mengirimkan sinyal LTE dan WCDMA pada sistem RoF yang karakteristik ketidakefektifannya diatur sesuai skenario pengujian. Sinyal keluaran sistem RoF akan diukur nilai SNR-nya, untuk kemudian menjadi parameter yang dianalisis. Proses tersebut digambarkan pada blok diagram berikut ini:



Gambar 6. Blok Diagram Penelitian

6. Skenario Simulasi

Analisis pengaruh ketidakefektifan sistem RoF terhadap sinyal sistem ganda LTE-WCDMA dilakukan tiga skenario pengujian sistem. Secara umum ketiga skenario pengujian dilakukan dengan cara mengubah karakteristik perangkat yang digunakan sehingga ketidakefektifan sistem RoF akan berbeda-beda. Kemudian sinyal LTE dan WCDMA dikirimkan dimasukkan dalam sistem RoF tersebut.

Skenario Pertama

Dalam skenario pertama ini dilakukan empat pengujian.. Pertama, simulasi sistem diuji dengan mengirimkan sinyal RF WCDMA dan LTE melalui sistem RoF yang tidak terdapat *frequency chirping*, dispersi, dan efek FWM. Kedua, simulasi sistem diuji dengan mengirimkan sinyal RF WCDMA dan LTE melalui sistem RoF yang terdapat dispersi dan efek FWM pada serat optik. Ketiga, simulasi sistem diuji dengan mengirimkan sinyal RF WCDMA dan LTE melalui sistem RoF yang terdapat *frequency chirping* pada DML. Keempat, simulasi sistem diuji dengan mengirimkan sinyal RF WCDMA dan LTE melalui sistem RoF yang terdapat *frequency chirping*, dispersi, dan efek FWM.

Skenario kedua

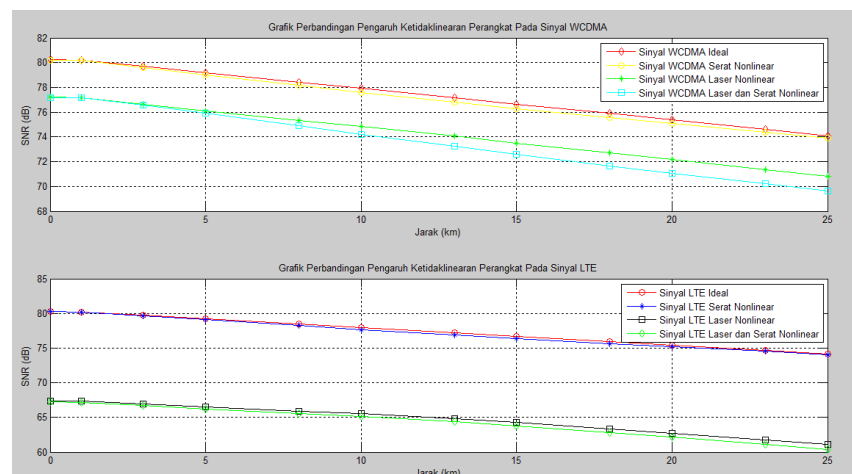
Dalam skenario kedua ini dilakukan dua pengujian. Pertama, simulasi sistem diuji dengan mengirimkan sinyal RF WCDMA dan LTE melalui sistem RoF dengan *Direct Modulation Laser* (DML) yang faktor *adiabatic-chirp* dominan (LTE melalui sistem RoF dengan DML yang faktor *transient-chirp* dominan) dengan $\alpha = 2,4$ dan $\alpha = 7,9 \times 10^{-4}$ Hz/W. Kedua, simulasi sistem diuji dengan mengirimkan sinyal RF WCDMA dan LTE melalui sistem RoF dengan DML yang faktor *transient-chirp* dominan dengan $\alpha = 1,5 \times 10^{-4}$ Hz/W).

Skenario ketiga

Dalam skenario ketiga ini dilakukan dua pengujian. Pertama, simulasi sistem diuji dengan mengirimkan sinyal RF WCDMA dan LTE melalui sistem RoF dengan menggunakan DWDM. Lamda yang digunakan adalah 1550.71 nm dan 1551.92 nm. Ketentuan lamda tersebut mengikuti standard ITU-T Rec. G.694.1 dengan spasi kanal 100 GHz. Kedua, simulasi sistem diuji dengan mengirimkan sinyal RF WCDMA dan LTE melalui sistem RoF dengan menggunakan CWDM. Lamda yang digunakan adalah 1531 nm dan 1551 nm. Ketentuan lamda tersebut mengikuti standard ITU-T Rec. G.694.2.

7. Hasil Simulasi

Pengaruh ketidaklinearan sistem RoF yang diakibatkan *frequency chirping* pada laser serta dispersi dan FWM pada serat optik terhadap sinyal ganda LTE-WCDMA dapat diketahui dengan menganalisis hasil pengujian yang dilakukan pada skenario pertama.

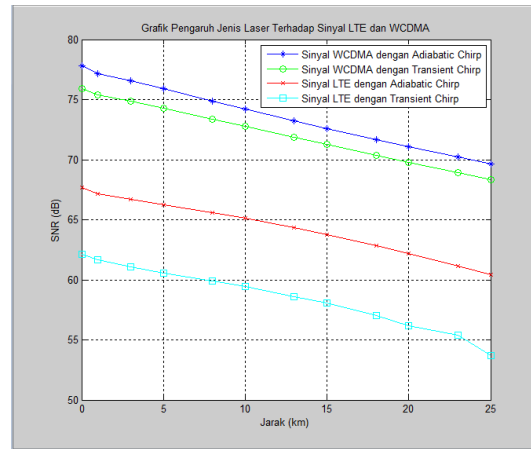


Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian Pada Skenario Simulasi Pertama

Grafik pada gambar 7 menunjukkan bahwa kontribusi pendistorsi sinyal paling besar pada simulasi sistem RoF ini adalah *frequency chirping* laser. pada penelitian ini ketidaklinearan serat optik menyebabkan nilai SNR turun dari nilai SNR pada sistem RoF ideal sebesar 0.241dB pada sinyal WCDMA dan 0.182 dB pada sinyal LTE. Sedangkan untuk ketidaklinearan laser menyebabkan nilai SNR turun dari nilai SNR sistem RoF ideal sebesar 3.15 dB pada sinyal WCDMA dan 12.655 dB pada sinyal LTE.

Frequency chirping laser memberikan kontribusi distorsi sinyal terbesar karena *frequency chirping* mengakibatkan banyaknya variasi panjang gelombang pada sinyal optik[6]. Variasi panjang gelombang tersebut akan dianggap sebagai sinyal *noise*. Ketidaklinearan serat berupa dispersi dan FWM hanya memberikan kontribusi distorsi yang relatif lebih kecil. Hal ini disebabkan karena dispersi akan terasa dampaknya hanya apabila terjadi variasi panjang gelombang pada sinyal optik. Oleh karena itu apabila laser pemodulasi dibuat ideal dengan variasi panjang gelombang seminimum mungkin, efek dispersi tidaklah begitu terasa. Sedangkan untuk efek FWM dapat diatasi dengan filter pada *demultiplexer*.

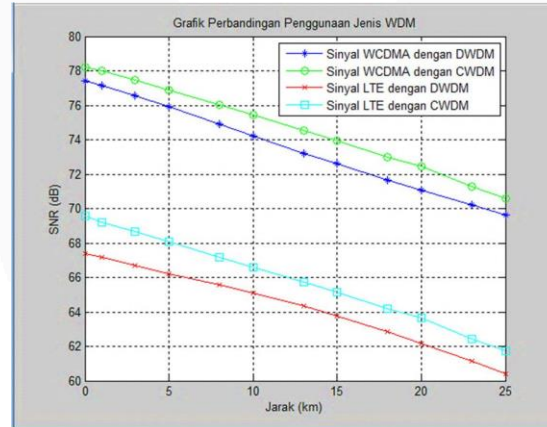
Skenario kedua dilakukan untuk mengetahui pengaruh karakteristik laser. Seperti yang telah disebutkan, karakteristik laser berdasarkan parameter penyebab *frequency chirping* dibagi menjadi dua, yaitu laser dominan *adiabatic chirp* dan laser dominan *transient chirp*. Berikut ini adalah hasil dari pengujian skenario kedua:



Gambar 8. Grafik Hasil Pengujian Pada Skenario Simulasi Kedua

Pada penelitian ini penggunaan laser dominan *adiabatic chirp* memberikan nilai SNR lebih baik daripada laser dominan *transient chirp* sebesar 1.44 dB untuk sinyal WCDMA dan 5.81 dB untuk sinyal LTE. Menurut referensi [6], *adiabatic chirp* akan berakibat pada pergeseran frekuensi sinyal optik. Sedangkan *transient chirp* akan berakibat pada munculnya variasi panjang gelombang. Karakteristik sinyal keluaran laser dengan banyak variasi panjang gelombang akan lebih mendistorsi sinyal. Hal tersebut disebabkan karena ketika menjalar pada serat optik dispersi serat akan lebih menambah distorsi pada sinyal dengan banyak variasi panjang gelombang. Oleh karena itu laser dominan *adiabatic chirp* memiliki nilai SNR yang lebih besar dari laser dominan *transient chirp*. Sehingga, untuk mendapat kualitas sinyal yang lebih baik maka sebaiknya dipilih laser dominan *adiabatic chirp* daripada laser dominan *transient chirp* saat merancang sistem RoF untuk sistem ganda LTE-WCDMA.

Sistem RoF untuk sistem ganda LTE-WCDMA menggunakan WDM sebagai metode *multiplexing* antara sinyal optik LTE dan WCDMA. Berdasarkan spasi lamda yang digunakan, WDM dibagi menjadi dua jenis, yaitu DWDM dan CWDM. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan DWDM dan CWDM terhadap sistem RoF maka dilakukanlah pengujian dengan skenario simulasi ketiga. Berikut ini hasil dari pengaruh jenis WDM terhadap sinyal LTE dan WCDMA.



Gambar 9. Grafik Hasil Pengujian Pada Skenario Simulasi Ketiga

Pada penelitian ini penggunaan CWDM memberikan nilai SNR lebih baik daripada DWDM sebesar 1.134 dB untuk sinyal WCDMA dan 1.551 dB untuk sinyal LTE. CWDM memberikan hasil lebih baik karena efek FWM yang ditimbulkan oleh CWDM lebih kecil daripada DWDM.

Standard kualitas sistem transmisi digital ditetapkan dalam suatu nilai *Bit Error Rate* (BER). Untuk transmisi pada *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH), termasuk juga STM-16 yang digunakan pada penelitian ini, ditetapkan oleh ITU-T G.957 harus memiliki nilai BER maksimal 10^{-10} . Dalam penelitian ini ukuran kualitas sistem transmisi menggunakan nilai SNR karena keterbatasan dari alat simulasi *Optisystem 13*. Meskipun demikian, dari nilai SNR dapat diketahui peluang bit error (P_e) dengan perhitungan matematis. Untuk menghitung nilai peluang bit error, digunakan dua asumsi. Pertama, kanal transmisi sistem RoF diasumsikan bersifat *Additive White Gaussian Noise* (AWGN)[3]. Kedua, nilai E_b/N_0 dirumuskan sebagai berikut:

$$E_b/N_0 \text{ (dB)} = \text{SNR (dB)} - 10\text{dB} \quad (9)$$

Nilai 10 dB adalah asumsi nilai dari penambahan efisiensi *bandwidth*, margin sistem, serta pengurangan nilai *bandwidth noise*.

Sinyal WCDMA pada sistem ganda LTE-WCDMA dibangkitkan menggunakan modulasi 16 QAM. Peluang bit errornya dirumuskan sebagai berikut[19]:

$$: \frac{e^{-\sqrt{\gamma} \cdot \sqrt{0.001}}}{\sqrt{\gamma} \cdot \sqrt{0.001}} : \text{CDE FG} \cdot \frac{H_{A2B} \cdot @ \cdot II}{@ < 0 K2} L \quad (10)$$

M = 16, M adalah nilai M-Ary QAM.

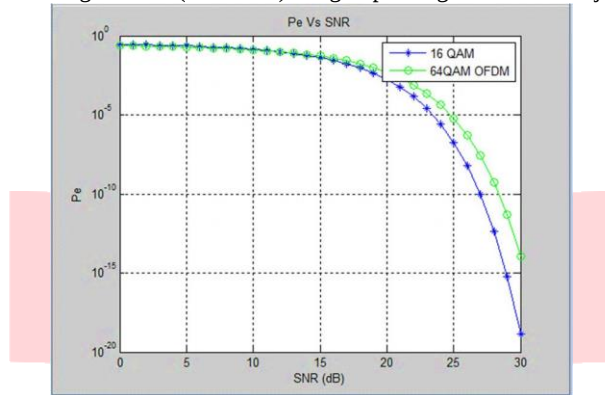
Sedangkan sinyal LTE yang dibangkitkan menggunakan modulasi 64 QAM OFDM peluang bit errornya dirumuskan sebagai berikut[19]:

$$: \frac{e^{-\sqrt{\gamma} \cdot \sqrt{0.001}}}{\sqrt{\gamma} \cdot \sqrt{0.001}} : \text{CDE M} \cdot \frac{\sqrt{N} \cdot \sqrt{0.001} \cdot H_{A2B} \cdot @ \cdot II}{\sqrt{N} \cdot \sqrt{0.001} \cdot @ < 0 K2} \quad (11)$$

M = 64,

N=900, N adalah jumlah subcarrier yang digunakan.

Hasil perhitungan hubungan SNR (0 - 30 dB) dengan peluang bit error ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Grafik Hubungan Pe dan SNR

Grafik hubungan antara Pe dengan SNR (0 - 30 dB) menunjukkan bahwa nilai Pe maksimal 10^{-12} dicapai saat nilai SNR sekitar 27 dB untuk modulasi 16 QAM dan nilai SNR sekitar 28 dB untuk modulasi 64 QAM OFDM. Nilai SNR hasil pengujian simulasi sistem RoF dengan semua skenario berkisar antara 53 - 81 dB. Hal ini berarti seluruh simulasi sistem dengan semua skenario menghasilkan kualitas sinyal yang baik karena nilai peluang bit errornya jauh lebih kecil dari standard yang ditetapkan yaitu 10^{-10} .

8. Kesimpulan

Dari hasil simulasi sistem dan analisis yang dilakukan pada penelitian ini, maka diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Kontribusi terbesar terhadap distorsi sinyal sistem ganda LTE-WCDMA diberikan oleh frequency chirping laser. Pada penelitian ini, frequency chirping laser menyebabkan turunnya nilai SNR rata-rata dari nilai SNR sistem RoF ideal sebesar 3.15 dB pada sinyal WCDMA dan 12.655 dB pada sinyal LTE.
- Ketidaklinearan serat optik pada sistem RoF untuk sistem ganda LTE-WCDMA tidak memberi kontribusi yang signifikan terhadap distorsi sinyal. Pada penelitian ini ketidaklinearan serat optik hanya menyebabkan nilai SNR turun dari nilai SNR pada sistem RoF ideal sebesar 0.241 dB pada sinyal WCDMA dan 0.182 dB pada sinyal LTE.
- Penggunaan laser dominan adiabatic chirp menghasilkan kualitas sinyal lebih baik daripada laser dominan transient chirp. Pada penelitian ini, penggunaan laser dominan adiabatic chirp memberikan nilai SNR lebih baik dari laser dominan transient chirp sebesar 1.44 dB untuk sinyal WCDMA dan 5.81 dB untuk sinyal LTE.
- Penggunaan CWDM pada sistem RoF untuk sistem ganda LTE-WCDMA menghasilkan kualitas sinyal lebih baik dari DWDM. Pada penelitian ini penggunaan CWDM memberikan nilai SNR lebih baik dari DWDM sebesar 1.134 dB untuk sinyal WCDMA dan 1.551 dB untuk sinyal LTE.
- Dilihat dari nilai peluang bit error, dengan rancangan sistem seperti pada penelitian ini, penggunaan laser dominan transient chirp maupun adiabatic chirp serta penggunaan CWDM maupun DWDM memiliki hasil yang baik. Namun untuk meningkatkan kualitas sinyal, dalam merancang sistem RoF untuk sistem ganda LTE-WCDMA disarankan menggunakan laser dominan adiabatic chirp sebagai laser dan CWDM sebagai metode multiplexing.

Daftar Pustaka

- [1] Agrawal, P. Govind. 2002. *Fiber-Optic Communication Systems Third Edition*. New York : John Wiley and Sons, Inc.
- [2] Al-Raweshidy, Hamed. *Radio Over Fiber Technologies for Mobile Communications Networks*.
- [3] Febrizal. 2009. *Evaluasi Kinerja Sistem OFDM Radio Over Fiber (OFDM-ROF)*. Bandung: ITB Master Thesis.

- [4] Fuke, Yutaka. 2012. *RoF System for Dual W-CDMA and LTE System*. NTT DOCOMO Technical Journal, Vol. 12, No. 4, hlm. 24-29.
- [5] Horche R. Paloma and Del Rio Campos, Carmina. *Influence of Current Pulse Shape on Directly Modulated Systems Using Positive and Negative Dispersion Fibers*. Selected Topic on Optical Fiber Technology Intech.
- [6] Kaminow, Ivan P. 2008. *Optical Fiber Telecommunications V A: Components and Subsystems*. USA: Academic Press.
- [7] Kanesan, Thavamaran. 2013. *Experimental Full Duplex Simultaneous Transmission of LTE Over DWDM Directly Modulation ROF System*. J. Opt. Communication Network Vol. 5, No.12.
- [8] Karthikeyan, R., S. Prakasam. 2014. *A Review OFDM-RoF (Radio over Fiber) System for Wireless Network*. International Journal of Research in Computer and Communication Technology, Vol. 3, Issue 3.
- [9] Krehlik P. 2006. *Characterization of Semiconductor Laser Frequency Chirp Based On Signal Distortion In Dispersive Optical Fiber*. OPTO-Electronics Review 14(2), 123-128.
- [10] Lawan S. H. 2012. *Numerical Simulation of Chromatic Dispersion and Fiber Attenuation in a Single-Mode Optical Fiber System*. IOSR-JECE vol 3, Issue 6 (Nov-Des 2012), hlm 31-34.
- [11] Ng'oma, Anthony. 2005. *Radio over Fiber Technology for Broadband Wireless Communication Systems*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven Master Thesis.
- [12] S, Charles. 1990. *Fiber Induced Distortions in a Subcarrier Multiplexed Lightwave System*. IEE Journal On Selected Areas in Communications. Vol. 8, No.7.
- [13] Shimazu, Yoshitsugu. 2012. *LTE Base Station Equipments Usable with W-CDMA System*. NTT DOCOMO Technical Journal Vol. 13 No. 1.
- [14] Shimazu, Yoshitsugu. 2012. *RRE Shared Between W-CDMA and LTE Systems*. NTT DOCOMO Technical Journal Vol. 12 No. 1.
- [15] Singh S. P. 2007. *Nonlinear Effects In Optical Fibers: Origin, Management and Applications*. India: Allahabad.
- [16] Visani, Davide. 2009. *Transmission of UMTS and WiMax Signal Over Cost-Effective Radio Over Fiber Systems*. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 19, No. 12.
- [17] Villafranca, Asier., Javier Lasobras. 2007. *Precise Characterization of The Frequency Chirp in Directly Modulated DFB Laser*. 6th Spanish Conference on Electronic Devices
- [18] Wake, D., R.E. Schuh. 2000. *Measurement and Simulation of W-CDMA Signal Transmission Over Optical Fiber*. IEEE Electronics Letter Vol. 36, No. 10.
- [19] Wyk, Jacques van., Louis Linde. 2007. *Bit Error Probability for a M-Ary QAM OFDM-based System*. IEEE Journal.
- [20] Yovita, Leanna Vidya. 2011. *Studi Penerapan DWDM-ROF Untuk Transmisi Multi Teknologi Akses Nirkabel*. Bandung : IT Telkom Master Thesis.