

Pengaruh Gandaan EDFA Terhadap Prestasi Rangkaian Cincin Metropolitan

(EDFA Gain Influence towards Metropolitan Ring Network Performance)

Mohammad Syuhaimi Ab-Rahman*, Iskandar Yahya, Suliana Sulaiman, Sahbudin Shaari & Kasmiran Jumari

ABSTRAK

Objektif utama kajian simulasi ini adalah untuk melihat kesan profil gandaan pra-penguat dan pasca-penguat terhadap nilai kuasa keluaran dan prestasi kadar bit rosak (BER) dalam rangkaian cincin metropolitan (parameter 600 km). Empat jenis profil ujian telah dikaji (iaitu A, B, C, dan D) serta kesannya terhadap prestasi BER dan kuasa keluaran dibandingkan melalui bilangan nod maksimum yang dibenarkan. Kajian juga memfokuskan kepada kesan pra-penguat terhadap titik uja dalam prestasi kadar bit rosak (BER) bagi rangkaian tersebut. Hasil keputusan yang diperolehi membolehkan kita mendapatkan nilai gandaan ideal pascapenguat dan prapenguat dalam rangkaian cincin metropolitan pemultipleks tambah gugur optik (OADM). Simulasi Opti_System telah digunakan untuk mencapai objektif kajian yang telah ditetapkan.

Kata kunci: EDFA; gandaan ideal; rangkaian cincin metropolitan; beban talian

ABSTRACT

The main objective of the simulation study is to observe the effect of gain profil for pre-amplifier and post amplifier to the output power and bit error rate (BER) performance in 600 parameter metropolitan ring network. Four profil have been introduced (A, B, C and D) and the effect of the gain value can be seen through the maximum achievable node. The study focuses also the effect of pre-amplifier on the exciting point in evaluation the BER performance. The outcomes of this study is to acquire the ideal gain value for pre and post amplifier in Optical Cross Add and Drop Multiplexer (OADM) metropolitan ring network. The Opti_System simulation is used to achieve the objectives as mentioned earlier.

Keywords: EDFA; ideal gain; metropolitan ring network; line load

PENGENALAN

Peningkatan pada kapasiti penghantaran data melebihi 10 Gbps telah membataskan penggunaan kabel sepaksi sebagai medium penghantaran data. Untuk itu, teknologi gentian optik telah menjadi pilihan untuk memenuhi permintaan terhadap penghantaran jalur lebar. Penerapan Pemultipleks Pembahagi Panjang Gelombang (WDM) ke dalam teknologi gentian optik telah menjadikannya medium penghantaran tanpa batasan yang menawarkan pelbagai kelebihan termasuklah kapasiti dan kelajuan yang tinggi, kebolehan penghantaran data jarak jauh dan kualiti isyarat diterima yang lebih baik. Maklumat yang dihantar dalam domain optik dipindahkan melalui talian titik ke titik menggunakan peralatan SONET/SDH untuk membentuk rangkaian bertopologi cincin dan *mesh*. Dalam rangkaian ini keperluan peranti-peranti yang menjalankan operasi tambah gugur dan juga pengarah laluan optik masing-masing dilaksanakan oleh peranti OADM dan sambung silang optik (OXC) (Tzanakaki et al. 2003). Kedua-dua peranti ini mempunyai aplikasi yang besar dalam dunia optik dan mempunyai struktur asas yang serupa, akan tetapi kedua-duanya mempunyai ciri yang berbeza. OADM mengendalikan pembawa isyarat yang berbeza pada

setiap pangkalannya manakala OXC pula mengendalikan pembawa isyarat yang sama. Hal ini menyebabkan kedua-dua peranti tersebut digunakan pada lokasi yang berbeza dengan fungsi yang berlainan. Persepakatan pengeluar peranti telah menetapkan OADM digunakan dalam rangkaian cincin manakala OXC pula digunakan dalam rangkaian *mesh* (Eldada et al. 2000; Mutafungwa 2000; Tsushima et al. 1998). Namun begitu, terdapat elemen lain yang sangat penting dalam menjamin isyarat dapat dihantar dalam jarak yang jauh iaitu penguat EDFA. Penguat EDFA yang berfungsi pada tettingkap C dan L telah diperkenalkan pada awal abad ke-21 yang beroperasi dalam domain optik sepenuhnya. Fungsinya secara langsung telah menggantikan penggunaan pengulak alik (keperluan pertukaran domain O-E-O) dalam rangkaian komunikasi optik hari ini (Novak et al. 2002). Pelbagai kajian berkaitan dengan EDFA, contohnya berkenaan dengan inovatif penggunaan EDFA yang berfungsi dalam dwi-hala, penglebaran jarak antara dua span dengan kemasukan konfigurasi EDFA yang lebih efektif (Khaleghi et al. 1996), Kaedah pengurangan hingar dengan kawalan nilai gandaan EDFA (Hashimoto et al. 2002), Peningkatan prestasi EDFA dalam rangkaian Paket tersuis WDM dengan menggunakan EDFA terkapit (Thomas

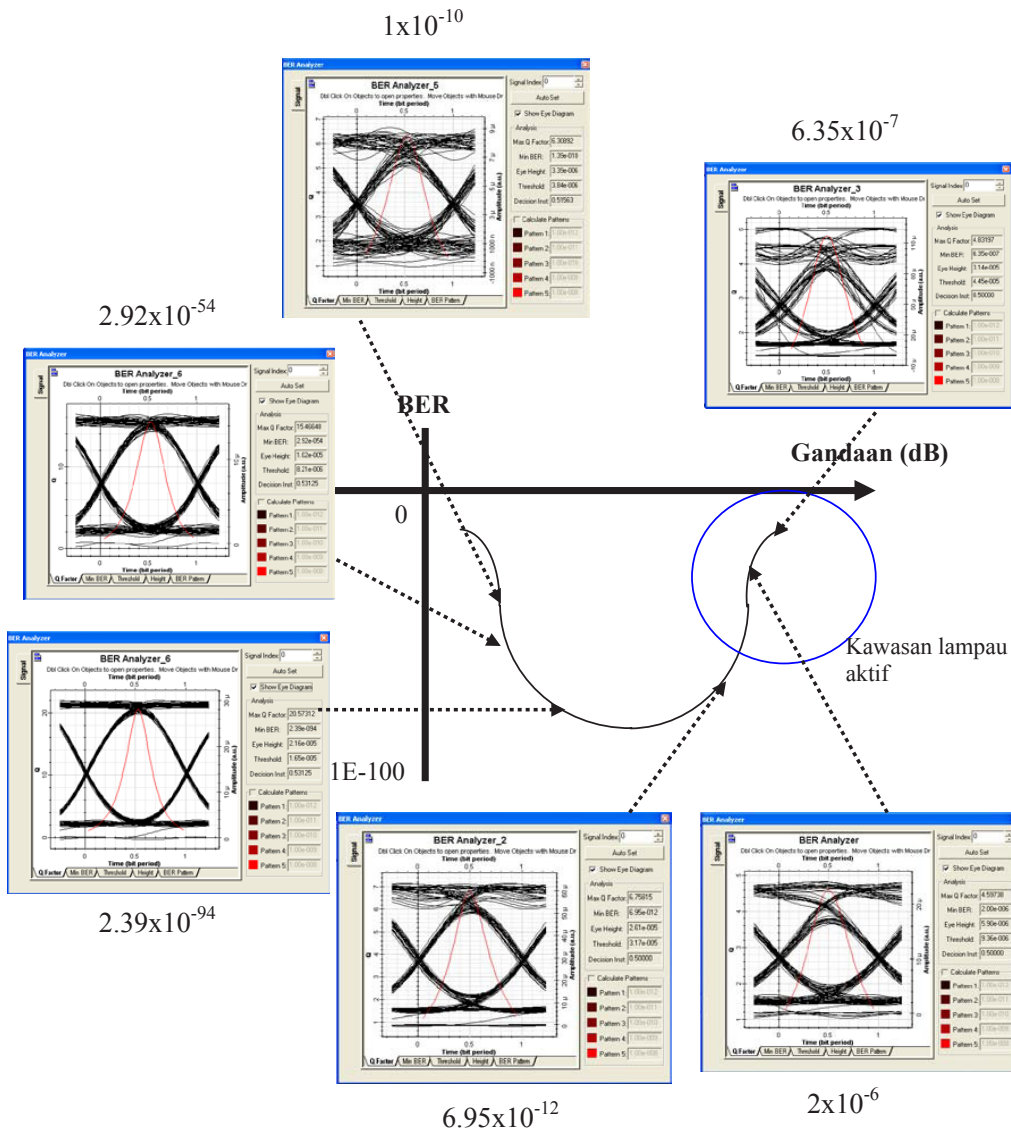
et al. 2007) dan banyak lagi. Kajian dalam makalah ini lebih menumpukan kepada kajian terhadap nilai gandaan EDFA yang ideal dalam menjamin prestasi BER yang baik ($>1 \times 10^{-9}$).

Dalam menentukan nilai gandaan sesuai untuk sesuatu rangkaian cincin, nilai beban talian perlu diambil kira. Beban talian adalah merujuk kepada jumlah nilai lesapan sisipan komponen-komponen yang menghubungkan dua nod optik dalam sesuatu rangkaian cincin optik (Ab-Rahman 2007).

Berdasarkan nilai beban talian yang diperolehi, rangkaian cincin metropolitan direkabentuk dengan prestasi BER yang memuaskan menggunakan nilai penguat yang optimum. Hal ini adalah kerana hubungan antara prestasi BER dan gandaan penguat adalah berbentuk negatif gaussian

maka wujudlah satu kawasan yang dipanggil "lampau tinggi/aktif" di mana peningkatan pada nilai gandaan akan memburukkan lagi nilai prestasi BER ini (Ziemer 2002). Rajah 1 menunjukkan kawasan lampau tinggi/aktif pada hubungan gandaan dan prestasi BER. Untuk mengelakkan profil BER bagi rangkaian cincin berada dalam kawasan lampau aktif maka kajian terhadap profil nilai penguat adalah penting. Dalam kajian simulasi, beberapa parameter utama ditetapkan seperti berikut:

- Jarak antara dua nod = 60 km
- Beban talian = 15 dB + 10.4 dB = 25.4 dB
- Kesensitifan = -25 dBm pada 1530 nm (2.5 GHz)
- Hingar terma = 3.1347×10^{-23} W/Hz



RAJAH 1. Profil BER Melawan Gandaan yang Menunjukkan Kawasan Lampau Aktif/ Tinggi Terletak pada Sebelah Kanan Profil Gaussian Tersebut

Beban talian merupakan jumlahan nilai lesapan sisipan yang dikira berdasarkan nilai teori yang mana ianya dikira berdasarkan jumlah lesapan sisipan yang terjana dalam talian penghantaran data yang menghubungkan dua nod atau diberikan oleh persamaan (1).

$$\text{Beban talian} = \text{Lesapan nod OADM} + \text{lesapan gentian} \quad (1)$$

Nilai beban talian ini penting untuk mendapatkan nilai gandaan ideal. Biasanya takrifan untuk nilai lesapan sisipan sebenar adalah (Ab-Rahman 2007):

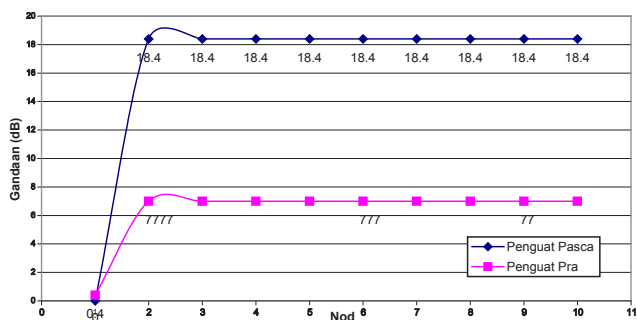
$$\text{Lesapan sisipan sebenar} = \text{Beban talian (nilai lesapan teori)} + \text{Lesapan operasian.} \quad (2)$$

Lesapan operasian pula merupakan sisihan daripada nilai yang diukur terhadap nilai teori produk.

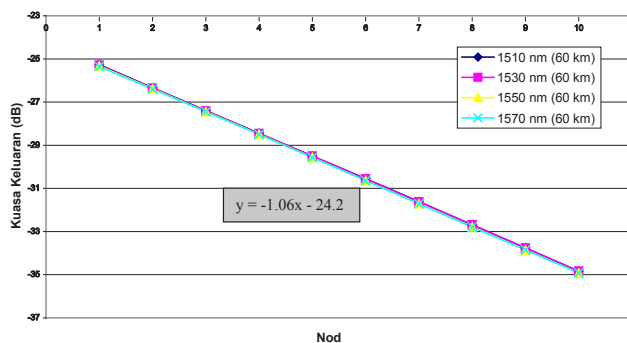
PROFIL GANDAAN PENGUAT- KAJIAN AWAL

PROFIL A

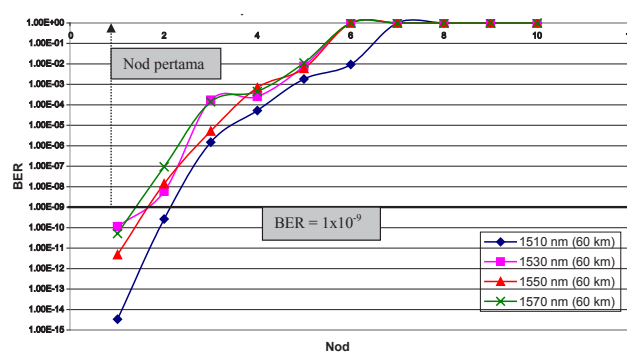
Profil A merujuk kepada jumlahan gandaan (pascapenguat dan prapenguat) yang sama dengan beban talian iaitu 25.4 dB. Simulasi ini akan memperoleh nilai lesapan lain yang berlaku pada talian nod ke nod selain daripada nilai lesapan yang disebabkan oleh beban talian. Rajah 2 menunjukkan profil bagi gandaan kedua-dua penguat. Rajah 3 pula menunjukkan profil kuasa keluaran yang diukur pada setiap nod. Diperhatikan terdapat kenaikan pada nilai lesapan sebanyak 1.06 dB bagi penghantaran data dari satu nod ke nod yang lain. Ini menunjukkan terdapatnya pengurangan sebanyak 1 dB pada nilai kuasa penghantaran merentasi nod ke nod dan hal ini mungkin disebabkan terdapat nilai lesapan lain (lesapan operasian) selain daripada lesapan beban talian yang telah dipampaskan dengan pascapenguat dan prapenguat. Oleh itu, nilai ganda pasca perlu ditingkatkan sebanyak 1 dB bagi setiap nod untuk memampaskan nilai lesapan operasian ini. Rajah 4 pula menunjukkan profil BER pada setiap nod yang berada di luar daripada kuasa lampau aktif. Oleh itu nilai BER ini meningkat dengan peningkatan pada lesapan kuasa. Prestasi BER memberikan nilai maksimum yang dibenarkan (1×10^{-9}) adalah pada nod pertama sahaja.



RAJAH 2. Gandaan Pascapenguat dan Prapenguat untuk Profil A. Nilai Gandaan Ini Bersamaan dengan Nilai Lesapan yang Dijanakan oleh Beban Talian



RAJAH 3. Penurunan pada Kuasa Keluaran Sebanyak 1.06 dB pada Setiap Nod Disebabkan Terdapatnya Lesapan Lain Selain dari Lesapan Beban Talian.



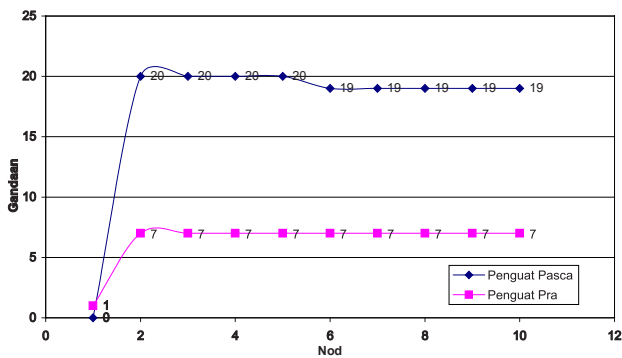
RAJAH 4. Peningkatan pada Nilai BER yang Disebabkan Peningkatan Nilai Lesapan Kuasa yang Berlaku pada Setiap Nod

PROFIL B

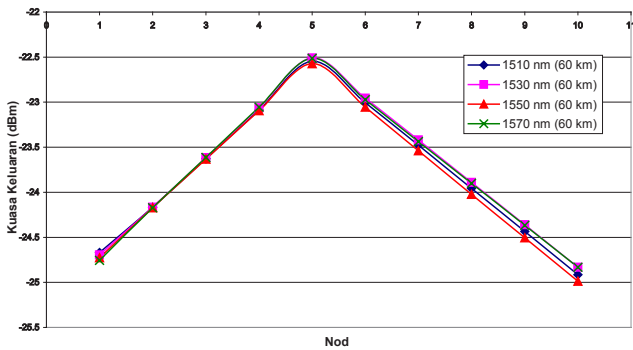
Profil B merupakan pengubahsuaian daripada profil A nilai pascapenguat ditingkatkan untuk memampaskan nilai lesapan operasian. Nilai gandaan pascapenguat dan prapenguat pada setiap talian masing-masing adalah 20 dB dan 7 dB untuk nod pertama ke nod kelima dan seterusnya 19 dB dan 7 dB untuk nod keenam hingga nod ke sepuluh. Nilai ganda pra pertama ditingkatkan pada 1 dB sebagaimana ditunjukkan dalam Rajah 5. Rajah 6 menunjukkan lesapan kuasa pada setiap nod terhadap profil B yang digunakan. Diperhatikan pada graf tersebut berlaku penurunan pada aras kuasa sehingga mencapai nod kelima sahaja dan meningkat semula pada nod keenam sehinggalah ke nod kesepuluh. Hal ini menunjukkan berlakunya perubahan yang besar pada nilai kuasa keluaran dengan perubahan pada nilai gandaan yang digunakan walaupun gandaan tersebut dkecilkan. Rajah 7 pula menunjukan prestasi BER terhadap gandaan profil B. Meskipun berlakunya peningkatan kuasa pada nod ke-6 ke nod ke-10 tetapi keadaan ini tidak memberi kesan terhadap nilai prestasi BER. Nilai BER tetap meningkat walaupun kuasa ditingkatkan. Oleh itu, di sini dapat disimpulkan gandaan pertama memberi kesan utama terhadap profil prestasi BER yang akan terbentuk. Oleh itu nilai gandaan prapenguat dalam profil B akan ditingkat dan ianya akan ditunjukkan dalam profil D dan profil E. Prestasi BER memberikan nilai

maksimum yang dibenarkan (1×10^{-9}) adalah pada nod keenam.

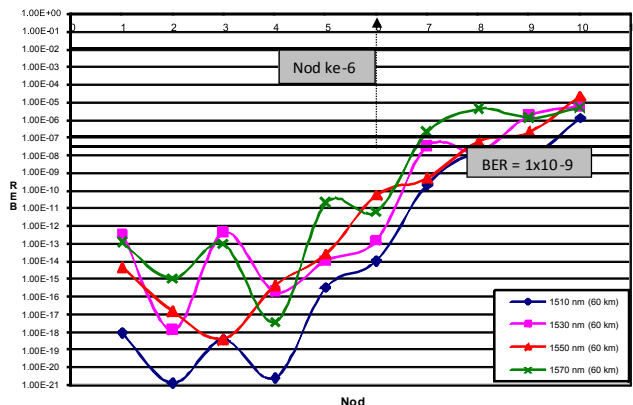
PROFIL C



RAJAH 5. Gandaan Pascapenguat dan Prapenguat untuk Profil B. Peningkatan Sebanyak 1 Db pada Nilai Gandaan Profil A

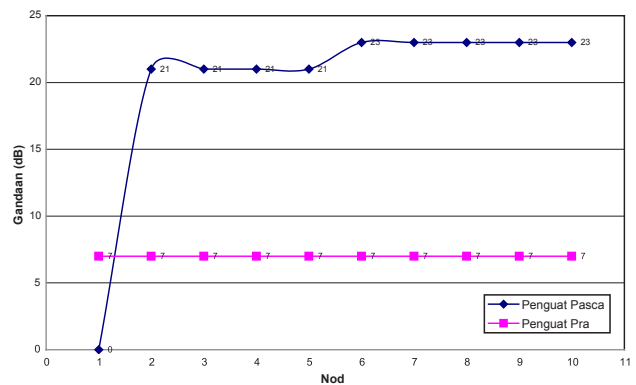


RAJAH 6. Penurunan pada Kuasa Lesapan Berlaku Sehingga Nod ke-5 dan Meningkatkan Semula Sehingga ke Nod ke-10 Disebabkan Gandaan Diturunkan Sebanyak 1 dB. Pengukuran Dijalankan pada OC-48 dan Jarak Antara Dua Nod 60 km

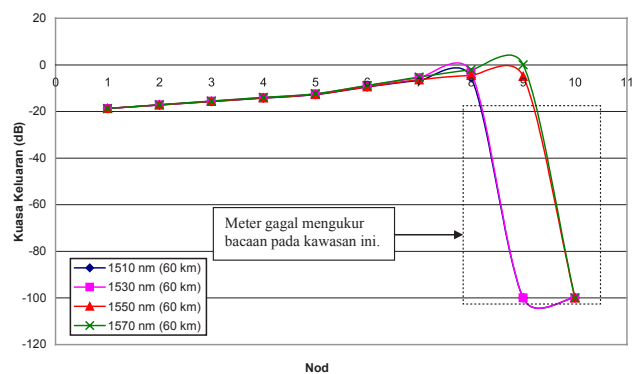


RAJAH 7. Peningkatan pada Nilai Kuasa Masukan yang Berlaku pada Nod Pertama Sehingga Nod Ke-6 Tidak Memberi Kesan Terhadap Nilai Prestasi BER

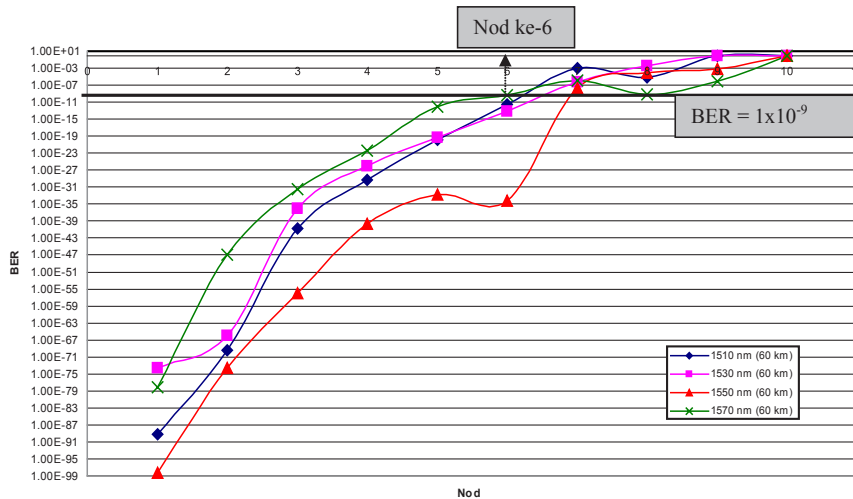
Profil C menggunakan nilai gandaan yang lebih tinggi berbanding profil A dan profil B. Nilai gandaan pascapenguat adalah 21 dB pada nod pertama sehinggalah ke nod kelima. Selepas itu gandaan ditingkatkan sebanyak 2 dB sehingga ke nod terakhir. Prapenguat ditetapkan dengan gandaan 7 dB. Ia ditunjukkan dengan jelas dalam Rajah 8. Rajah 9 menunjukkan kuasa keluaran pada setiap nod terhadap nilai gandaan profil C. Peningkatan pada nilai gandaan meningkatkan nilai kuasa keluaran sehinggalah mencapai nilai 0 dBm. Rajah 10 pula menunjukkan prestasi BER terhadap gandaan profil C. Walaupun berlakunya peningkatan kuasa pada nod pertama sehingga ke Nod ke-10 tetapi keadaan ini tidak memberi kesan terhadap nilai prestasi BER. Nilai BER tetap meningkat walaupun kuasa masukan nod ditingkatkan. Peningkatan kuasa yang terlalu tinggi mempercepatkan lagi kenaikan pada nilai BER. Ini telah memberi gambaran jelas terhadap prestasi BER dimana nilainya tidak boleh ditingkatkan tetapi kadar penurunan boleh diperlahankan dengan nilai gandaan yang digunakan. Profil D seterusnya akan menggunakan nilai gandaan pertama yang lebih tinggi daripada berbanding



RAJAH 8. Gandaan Pascapenguat dan Prapenguat untuk Profil C. Nilai Gandaan yang Digunakan Lebih Besar daripada Kuasa Lesapan yang Disebabkan Beban Talian



RAJAH 9. Peningkatan pada Nilai Gandaan Mendorong kepada Kenaikan pada Nilai Kuasa Keluaran. Pengukuran Dijalankan pada OC-48 dan Jarak Antara Dua Nod 60 km



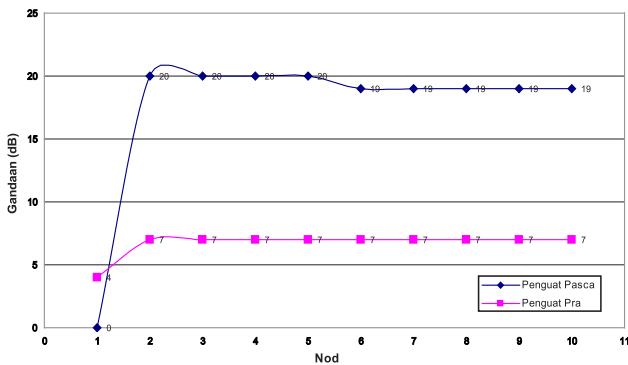
RAJAH 10. Peningkatan pada Nilai Kuasa Keluaran yang Tinggi Mempercepatkan Lagi Peningkatan Kadar Kerosakan Data Disebabkan oleh Kawasan Lampau Aktif

dengan profil B. Prestasi BER memberikan nilai maksimum yang dibenarkan (1×10^{-9}) adalah pada nod ke lapan.

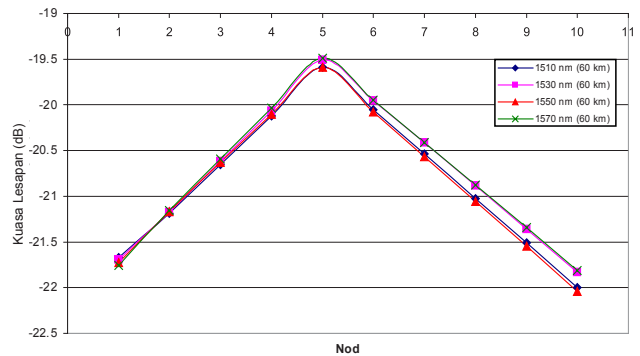
PROFIL D

Profil D menggunakan nilai gandaan pra pertama yang ditingkatkan sebanyak 3 dB bertujuan untuk melihat profil BER yang terhasil. Nilai gandaan bagi kedua-dua penguat ditunjukkan dalam Rajah 11 manakala kuasa keluaran bagi setiap nod ditunjukkan dalam Rajah 12. Peningkatan

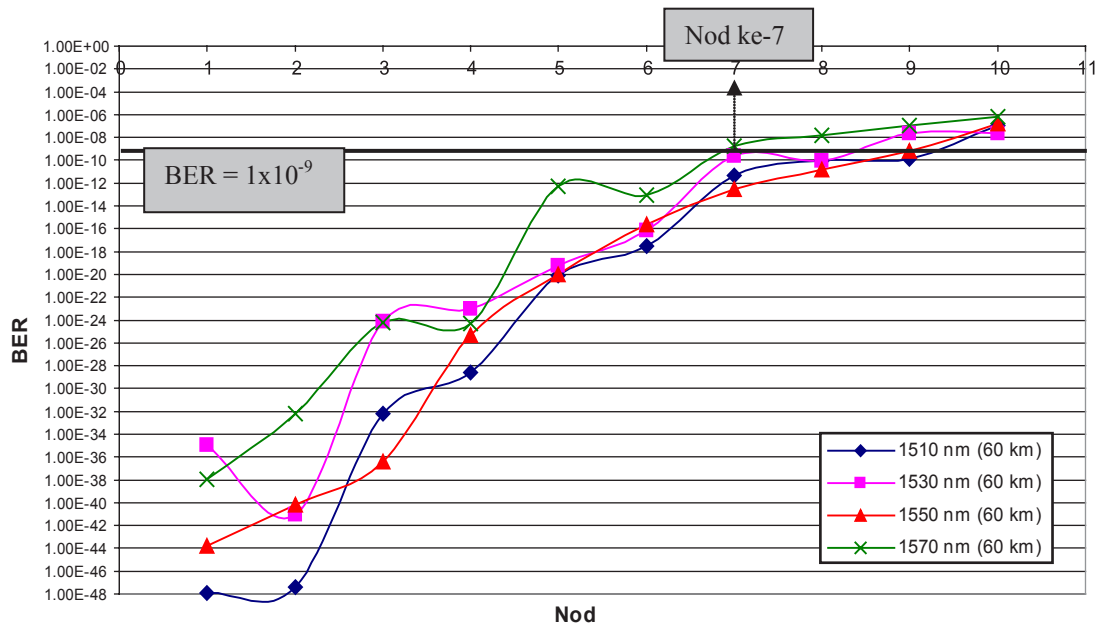
pada nilai gandaan pra pertama menyebabkan nilai BER permulaan adalah lebih kecil. Profil yang terbentuk seakan-akan dengan profil BER B tetapi peningkatan pada nilai BER bagi setiap nod adalah lebih laju berbanding pada profil B (Rajah 13). Walau bagaimanapun kajian yang seterusnya akan mendalami secara mendalam perbezaan di antara profil B dan profil D bagi melihat kesan yang lebih jelas terhadap pengaruh prapenguat pertama terhadap keseluruhan sistem. Prestasi BER memberikan nilai maksimum yang dibenarkan (1×10^{-9}) adalah pada nod ke tujuh.



RAJAH 11. Profil D yang Serupa dengan Profil B Tetapi Nilai Gandaan Prapenguat Pertama Ditingkatkan Sehingga 4 dB



RAJAH 12. Kuasa Keluaran yang Lebih Besar Berbanding pada Profil B. Penurunan yang Sama Berlaku pada Nod Ke-6 Sehingga Nod Ke-10. Pengukuran Dijalankan pada OC-48 dan Jarak Antara Dua Nod 60km

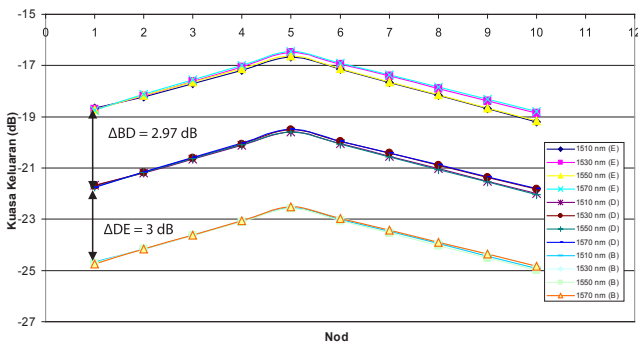


RAJAH 13. Kenaikan pada Nilai Ganda Pra Pertama Meningkatkan Mengurangkan Nilai BER untuk Nod Pertama dan Nilainya Meningkatkan untuk Nod yang Seterusnya. Nilai BER yang Kecil pada Permulaan Memberi Kesan yang Baik Terhadap Prestasi Keseluruhan Sistem

GANDAAN PERTAMA PRAPENGUAT

Bahagian ini mengkaji kesan gandaan pertama prapenguat terhadap prestasi keseluruhan sistem rangkaian keselamatan cincin metropolitan. Untuk melihat dengan lebih jelas lagi, profil E dibangunkan dengan nilai gandaan prapenguat pertama adalah 7 dB. Ketiga-tiga profil ini (iaitu B, D dan E) telah dibandingkan dan kesan gandaan terhadap kuasa keluaran ditunjukkan dalam Rajah 14. Nilai prapenguat pertama bagi ketiga-tiga profil tersebut adalah seperti berikut:

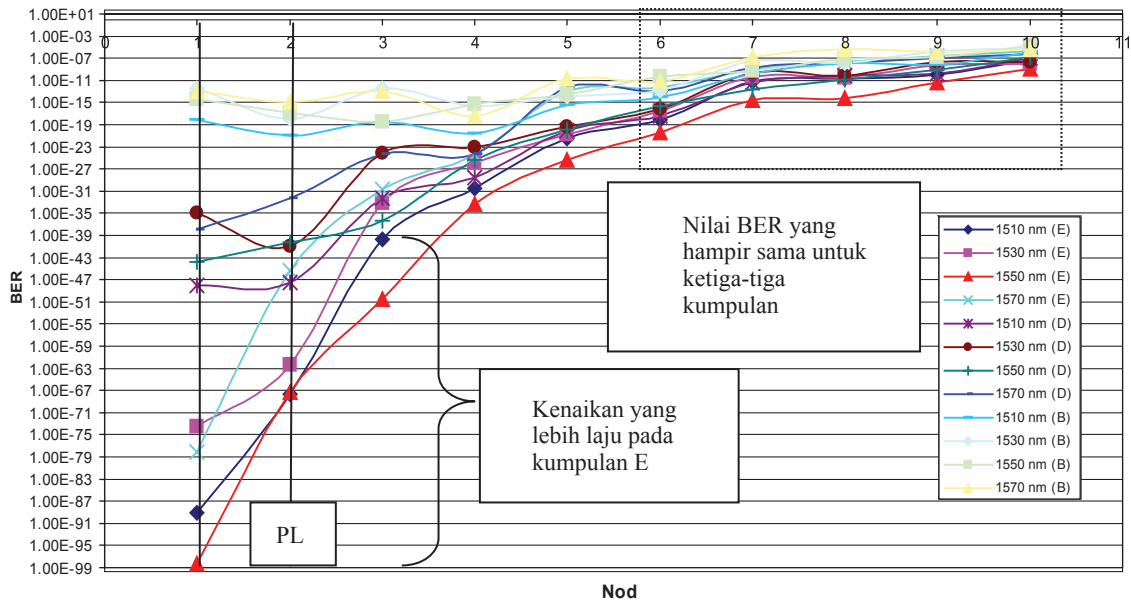
- Prapenguat pertama profil B = 1 dB
- Prapenguat pertama profil D = 4 dB
- Prapenguat pertama profil E = 7 dB



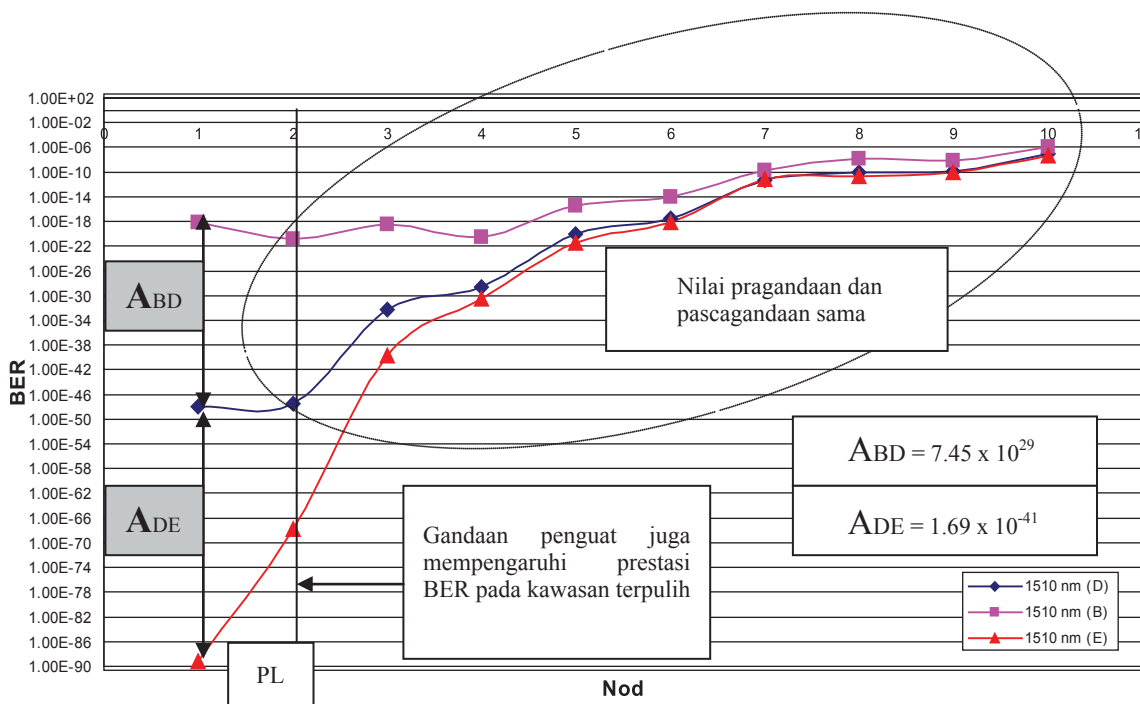
RAJAH 14. Perbezaan Keluaran Lesapan bagi Ketiga-tiga Kumpulan. Perbezaan Sebanyak 3 dB Disebabkan pada Setiap Nod Disebabkan oleh Pengaruh Gandaan Prapenguat Pertama. Pengukuran Dijalankan pada OC-48 dan Jarak Antara Dua Nod 60 km

Daripada graf tersebut, dapat diperhatikan peningkatan pada nilai gandaan pertama prapenguat memberi kesan kepada keseluruhan sistem rangkaian cincin ini di mana berlakunya perbezaan 3 dB antara kuasa keluaran setiap nod bermula dari nod pertama hinggalah ke nod yang terakhir. Ini menunjukkan berlakunya lebih kuasa sebanyak 3 dB antar profil D dan B serta profil E dan D.

Rajah 15 dan Rajah 16 pula menunjukkan prestasi BER bagi ketiga-tiga profil pada nilai gandaan pertama prapenguat yang berbeza. Prestasi BER permulaan iaitu pada nod pertama untuk ketiga-tiga profil ini terletak pada nilai yang berbeza. Ini adalah disebabkan nilai kuasa masukan pada nod pertama adalah berbeza. Profil E dengan gandaan prapenguat pertama 7 dB memberi nilai bacaan BER yang paling minimum (2.84×10^{-4} pada 1510 nm). Kemudian nilai-nilai gandaan ini meningkat dengan peningkatan jarak laluan sehingga ke nod ke-5. Nilai BER yang diperhatikan pada nod yang ke-6 sehingga ke nod yang terakhir didapati seakan-seakan bertindih menunjukkan ianya mempunyai nilai BER yang hampir serupa. Ini menunjukkan profil gandaan pada kawasan ini adalah sama bagi ketiga-tiga profil ini. Di sini dapat disimpulkan bahawa profil gandaan juga memberi kesan yang besar terhadap nilai prestasi BER bagi sistem rangkaian cincin keselamatan metropolitan ini (Rajah 16). Daripada pemerhatian yang telah dilakukan, profil B memberikan bacaan BER yang lebih konsisten dengan penggunaan prapenguat pertama yang rendah berbanding pada profil-profil yang lain. Peningkatan kuasa pada setiap nod tidak memberi kesan secara langsung terhadap prestasi BER. Oleh itu satu konfigurasi yang optimum perlulah dicapai untuk menstabilkan nilai BER ini pada setiap nod dalam rangkaian cincin keselamatan ini.



RAJAH 15. Profil BER bagi Ketiga-Ketiga Kumpulan Dimana Pengaruh Gandaan Pra Pertama Memberi Kesan kepada Permulaan Nilai BER bagi Ketiga-tiga Profil Tersebut Khususnya pada Kawasan Terpulih, PL



RAJAH 16. Profil BER yang Lebih Jelas untuk Ketiga-Tiga Kumpulan pada Panjang Gelombang 1510 nm. Nilai Gandaan Prapenguat dan Pascapenguat yang Sama yang Digunakan pada Nod ke-2 Sehingga Nod ke-10 Menyebabkan Ketiga-tiga Profil Tersebut Mendekati lain

GANDAAN PENGUAT IDEAL

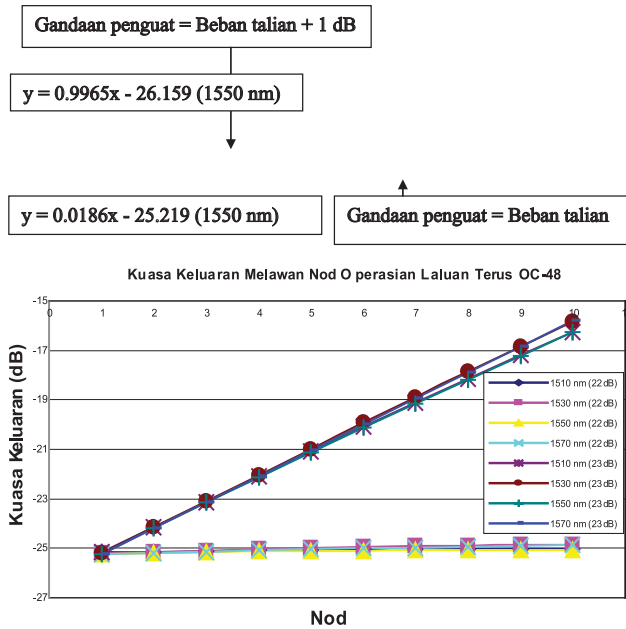
Gandaan penguat memainkan peranan yang penting dalam memastikan isyarat yang dihantar pada pemancar sampai ke destinasiya serta diterjemahkan. Dalam rangkaian optik berparameter besar, biasanya nilai gandaan yang digunakan seharusnya sama atau melebihi nilai beban talian untuk memastikan kuasa yang diterima pada setiap nod lebih

besar daripada kesensitifan pekafoto serta menghasilkan prestasi BER yang baik sepertimana yang disarankan oleh Robert J.Hoss. Ia diringkaskan seperti berikut (3) (Hoss 1990).

$$A_{\text{prapenguat}} + A_{\text{pascapenguat}} \geq L_{\text{gentian}} + L_{\text{peranti}} \tag{3}$$

Dengan

- $A_{\text{prapenguat}}$ = Gandaan prapenguat
- $A_{\text{pascapenguat}}$ = Gandaan pascapenguat
- L_{gentian} = Lesapan gentian
- L_{peranti} = Lesapan sisipan peranti



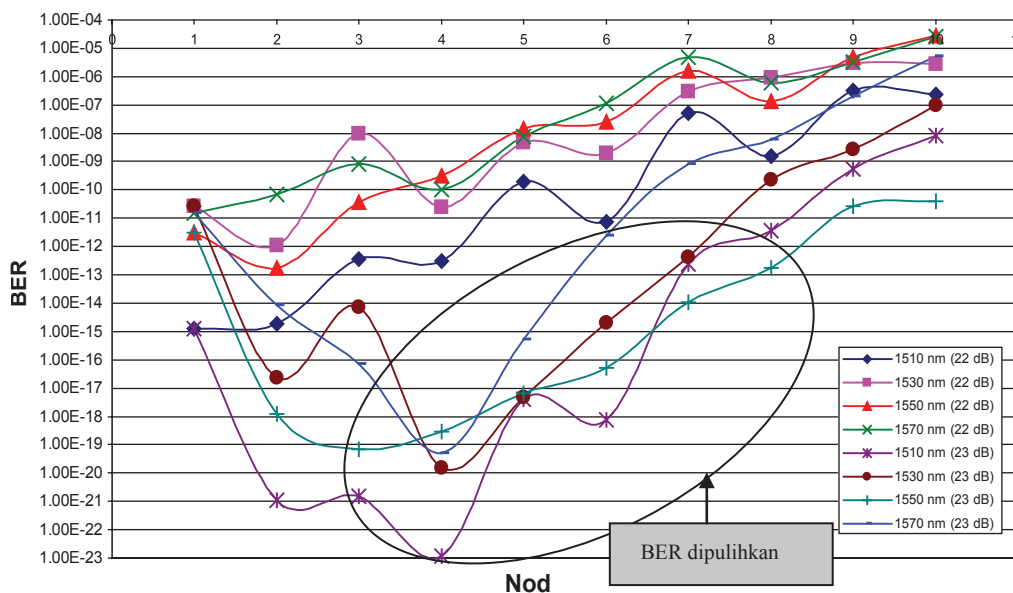
RAJAH 17. Penambahan 1 dB Melebihi Nilai Beban Talian pada Gandaan Penguat Memberi Kesan yang Besar Terhadap Kuasa Keluaran pada Setiap Nod. Perbandingan Dilakukan dengan Gandaan Penguat yang Menyamai Nilai Beban Talian yang Menghasilkan Profil Kuasa yang Malar. Kadar Penghantaran Data Adalah 2.5 Gbps

Kesan perbezaan profil gandaan penguat yang menyamai dengan nilai beban talian dan beban talian + 1 dB terhadap kuasa keluaran pada setiap nod ditunjukkan dalam Rajah 17. Pemampasan beban talian melalui nilai gandaan penguat yang sama menghasilkan profil yang malar manakala gandaan penguat yang lebih besar daripada beban talian menghasilkan peningkatan pada kuasa keluaran pada setiap nod dengan kadar 1 dB per unit nod. Peningkatan pada nilai kuasa keluaran ini akan memulihkan prestasi BER pada setiap nod sebagaimana yang ditunjukkan dalam Rajah 18.

Perlu diingatkan bahawa profil BER menyusut secara eksponen manakala profil kuasa pula adalah linear. Kenaikan pada kuasa pembawa tidak meningkatkan prestasi BER tetapi dapat memulihkannya dengan memperlambatkan kadar penurunannya dan ini telah dibuktikan dalam Rajah 6.10 di atas. Oleh itu nilai gandaan minimum yang diperlukan dalam sesuatu rangkaian cincin adalah menepati persamaan (3).

KESIMPULAN

Kesimpulan daripada kajian ini menunjukkan gandaan penguat juga mempengaruhi prestasi BER pada kawasan terpulih. Oleh kerana sebarang perubahan pada aras kuasa kawasan tersebut dapat dipampaskan atau dipulihkan oleh gandaan penguat, maka konfigurasi penguat optik adalah penting untuk mendapat profil prestasi BER yang stabil (kadar kemerosotan yang perlahan) dalam rekabentuk rangkaian cincin keselamatan optik. Nilai gandaan penguat ideal ditentukan oleh nilai beban sistem sebagaimana yang ditunjukkan pada persamaan (1) (profil B dan profil D).



RAJAH 18. Penambahan 1 dB pada Gandaan Penguat Memberi Kesan yang Besar Terhadap Prestasi BER pada Setiap Nod. Pemulihan pada Nilai BER Ini Memastikan Jarak Penghantaran Data Dapat Dikembangkan Serta Dipanjangkan Lagi

Profil prestasi BER terhadap nilai gandaan penguat adalah berbentuk gaussian terbalik, oleh itu nilai penguat yang ideal diperlukan untuk memperolehi nilai BER yang paling kecil. Gandaan penguat pertama juga penting dalam menentukan titik mula prestasi sesuatu rangkaian optik. Titik mula dengan BER yang paling kecil akan memastikan jarak maksimum sesuatu rangkaian dapat ditingkatkan.

PENGHARGAAN

Perhargaan Khas ditujukan ke Makmal Teknologi Fotonik, Institut Mikrokejuruteraan dan Nanoelektronik (IMEN) di atas kebenaran menggunakan perisian OptiSystem keluaran Optiwave Corporation.

RUJUKAN

- Ab-Rahman, M. S. 2007. Lampiran J: Simulasi pencirian perlindungan linear/multipleks. Tesis PhD. Universiti Kebangsaan Malaysia. Hlm. 396-409.
- Ab-Rahman, M. S., Mustaza, S. M. & Zan, M. S. Z. 2009. OXADM Dalam Sistem Keselamatan Rangkaian Cincin Metropolitan. *Jurnal Teknologi* 52:149-161.
- A. Tzanakaki, A., Zacharopoulos, I. dan Tomkos, I. 2003. Optical add/drop multiplexers and optical cross-connects for wavelength routed network. *ICTON*: 41-46.
- Eldada, L. dan Nunen, J. V. 2000. Architecture and performance requirements of optical metro ring nodes in implementing optical add/drop and protection functions, *Telephotronics Review*.
- Mutafungwa, E. 2000. An improved wavelength-selective all fiber cross-connect node. *IEEE Journal of Applied Optics*: 63-69.
- Thomas, D. H. dan von der Weid, J. P. 2007. Performance of Gain-Clamped EDFAs in Channel Routing and Packet Switched WDM *Optical Transmissions Lasers and Electro-Optics, 2007 and the International Quantum Electronics Conference. CLEOE-IQE* Hlm. 1-1.
- Tsushima, H., Hanatani, S., Kanetake, T., Fee, J. A. dan Liu, S. a. 1998. Optical cross-connect system for survivable optical layer networks. *Hitachi Review* 47(2): 85-90.
- Ziemer, R. E. dan Tranter, W. H. 2002. *Principles of communication*. Edisi Ke-5. USA: WILEY.
- Mohammad Syuhaimi Ab-Rahman, Iskandar Yahya, Suliana Sulaiman & Kasmiran Jumari
Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik dan Sistem,
Fakulti Kejuruteraan & Alam Bina,
Universiti Kebangsaan Malaysia,
43600 UKM Bangi, Selangor
Malaysia
- Sahbudin Shaari
Makmal Teknologi Fotonik, Institut Kejuruteraan Mikro dan Nanoelektronik (IMEN),
Universiti Kebangsaan Malaysia,
43600 UKM Bangi, Selangor
Malaysia

*Corresponding author; e-mail: syuhaimi@vlsi.eng.ukm.my

Received Date : 8th August 2008

Accepted Date : 24th August 2010

