

OXADM DALAM SISTEM KESELAMATAN RANGKAIAN CINCIN METROPOLITAN

MOHAMMAD SYUHAIMI AB-RAHMAN¹, SERI MASTURA MUSTAZA²,
MOHD SAIFUL DZULKEFLY ZAN³ & AIDA BAHARUDIN⁴

Abstrak. Pemultipleks Tambah Gugur Silang Optik (OXADM) merupakan satu peranti optik hibrid baru yang dihasilkan melalui gabungan dua peranti asal, iaitu Pemultipleks Tambah Gugur Optik (OADM) dan Sambung Silang Optik (OXC). Ianya telah dibangunkan berdasarkan kajian terhadap kelemahan peranti sedia ada dengan beberapa ciri baru dan menarik telah dimasukkan. OXADM diperkenalkan untuk meningkatkan tahap keselamatan dalam rangkaian cincin. Dengan adanya ciri 'Pengumpulan' membolehkan perlindungan multipleks diaktifkan di mana kesemua isyarat yang melalui nod optik akan dikumpulkan di atas satu talian perlindungan/persediaan sekiranya berlaku kerosakan pada talian bekerja dalam rangkaian optik cincin. Antara skema perlindungan lain yang diperkenalkan oleh OXADM ini adalah perlindungan linear dan perlindungan cincin. OXADM membenarkan isyarat membuat pusingan secara 'U' secara dalaman untuk mengkuarantinkan kawasan kerosakan daripada kawasan yang selamat. Kedua-dua ciri inilah yang membezakan OXADM dengan peranti-peranti sebelumnya. Dengan adanya peranti OXADM ini membolehkan sebarang kerosakan yang berlaku dalam rangkaian optik dapat dipulihkan segera dengan mengaktifkan skema perlindungan yang sesuai berdasarkan jenis dan lokasi kerosakan yang berlaku. OXADM ini merupakan peranti pertama yang mengintegrasikan ketiga-tiga jenis mekanisme keselamatan rangkaian di dalam satu peranti.

Kata kunci: OXADM; skema keselamatan; rangkaian cincin; simulasi, perkakasan

Abstract. The Optical Cross Add & Drop Multiplexer (OXADM) is a new hybrid optical device which has the combination of the original Optical Add And Drop Multiplexer (OADM) and Optical Cross Connect (OXC) devices. OXADM is developed based on the study on the demerits of the existing devices and new features are added to the device. OXADM is introduced to increase the survivability in ring architecture network. With its 'Accumulation' feature enable the multiplexing protection scheme can be activated where all the signals pass through an optical node are multiplexed onto a single path as a protection/preparation in case breakdown happens at the working line in an optical ring network. Other protection schemes provided by OXADM are the Linear Protection and Ring Protection. OXADM enable the signal to route internally as U turn to segment the breakdown area from the safe area. Both features have differentiated the OXADM with the previous existing device. With this new OXADM device, any breakdown happens in an optical network can be

¹⁻⁴ Kumpulan Penyelidikan Komputer dan Sekuriti Rangkaian, Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik dan Sistem, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia
Tel: 03-89216448. Faks: 03-89216146. Email: syuhaimi@vlsi.eng.ukm.my, serimastura@vlsi.eng.ukm.my, saiful@vlsi.eng.ukm.my, aida@vlsi.eng.ukm.my

quickly fixed by activating the appropriate protection scheme based on the type and the location of the breakdown. OXADM device is known as the first device that integrates all three network safety mechanisms onto a single device.

Keywords: OXADM; protection scheme; ring network; simulation; hardware

1.0 PENGENALAN

Rangkaian WDM telah menepati citarasa pengguna pada masa kini yang memenuhi permintaan terhadap lebar jalur, kelajuan, kualiti dan juga keberkesanan. Elemen utama yang merealisasikan rangkaian ini adalah peranti pensuisan, iaitu *Pemultipleks Tambah Gugur Optik* (OADM) dan *Sambung Silang Optik* (OXC). Kedua-dua peranti ini mempunyai fungsi, aplikasi, reka bentuk dan konsep yang berbeza tetapi sekiranya kedua-dua fungsi peranti ini digabungkan. Ianya akan menghasilkan satu fungsi yang unik yang secara tidak langsung melebarkan aplikasi gentian optik dalam sektor yang lain. Generasi kedua peranti ini yang disebut Pemultipleks Tambah Gugur Boleh Ubah (*Reconfigurable Optical Add & Drop Multiplexer*, ROADM) telah mula melebarkan aplikasinya dalam pembinaan alat-alat pencirian seperti Penganalisis Spektrum Optik sebagai elemen pensuisan bagi pemilihan panjang gelombang operasi [4][6]. Nod Silang Optik (*Optical Cross Node*, OXN) juga dibangunkan untuk memampakan kelemahan yang ada dalam peranti sebelumnya, iaitu OXC [3].

Peranti Pemultipleks Tambah Gugur Silang Optik (OXADM) merupakan sebuah peranti baru dalam rangkaian optik. Ia mempunyai beberapa ciri istimewa seperti mampu menjalankan fungsi tambah gugur, penamatan, pertukaran laluan, pemusingan laluan dan pengumpulan isyarat di atas satu laluan. Ia disebut peranti hibrid daripada peranti OADM dan OXC yang direka bentuk untuk berfungsi dalam kedua-dua topologi cincin dan *mesh* di samping menyediakan ciri keselamatan yang unik dan berkeboleharapan tinggi. Ia merupakan peranti optik pertama yang mengintegrasikan ketiga-tiga skema perlindungan, iaitu perlindungan linear, perlindungan cincin dan perlindungan multipleks di dalam satu arkitektur [7–10].

OXADM ini menjadi isu utama dalam kajian ini kerana kehadirannya adalah untuk memperbaiki beberapa kelemahan yang ada dalam peranti sedia ada untuk rangkaian cincin metropolitan dan capaian pengguna *Fiber-to-the Home* (FTTH). Isu pemigrasian topologi dan isu pengkuarantinanan yang melibatkan sektor yang luas merupakan isu utama bagi penyelesaian OXADM [8]. Aplikasi OXADM diperluaskan dalam rangkaian capaian pengguna FTTH sebagai suis keselamatan untuk meningkatkan tahap kecekapan dan keselamatan dalam rangkaian tersebut khususnya pada bahagian guguran [12]. Skema perlindungan pada bahagian guguran FTTH menggunakan penyelesaian OXADM merupakan yang pertama dilaporkan setakat ini yang meliputi

kawasan guguran. Di samping itu OXADM juga dicadangkan sebagai peranti multifungsi, penkodan dan penyahkod dalam OCDMA dan juga suis optik [9].

Reka bentuk OXADM untuk mekanisme perlindungan linear mengendalikan panjang gelombang yang sama pada setiap pangkalan menjadikannya lebih bercirikan peranti OXC [2][13]. Kelebihannya berbanding OXC adalah mekanisme perlindungan untuk rangkaian cincin juga diterapkan bersama di dalam arkitekturnya. Reka bentuk OXADM untuk mekanisme perlindungan multipleks dan perlindungan cincin mengendalikan panjang gelombang berbeza menjadikannya lebih bercirikan peranti OADM [5]. Reka bentuk OXADM ini memudahkan proses pemigrasian topologi dan menyamai dengan struktur rangkaian cincin dan *mesh* yang digunakan pada hari ini. Kesemua mekanisme perlindungan OXADM tidak memerlukan penukar panjang gelombang berbeza dengan sesetengah peranti OXC [5].

Mekanisme pembaikpulihan hibrid OXADM membolehkan mekanisme perlindungan linear, multipleks dan cincin diintegrasikan di dalam satu arkitektur dan akan diaktifkan mengikut jenis, kelas dan lokasi kerosakan yang berlaku. Berbeza dengan nod keselamatan yang sedia ada pada hari ini yang menggunakan satu jenis mekanisme perlindungan sahaja untuk menangani kesemua jenis kerosakan. Keadaan ini membawa kepada fenomena pengkuarantinan yang melibatkan sektor kawasan yang besar. Tambahan pula, pengkuarantinan ini juga turut melibatkan nod-nod yang aktif. Mekanisme perlindungan OXADM ini merupakan yang pertama dilaporkan yang mengintegrasikan kesemua skema perlindungan dalam satu sistem dan tanpa melibatkan penambahan sistem pensuisan luar. Pencirian simulasi dan perkakasan menunjukkan tiada perubahan pada kuasa keluaran semasa mekanisme perlindungan linear diaktifkan manakala penurunan sebanyak 2 dB berlaku untuk perlindungan cincin. Simulasi Optisystem keluaran Optiwave Inc. digunakan dalam merekabentuk dan menguji rangkaian yang dibangunkan. Dua unit prototaip OXADM juga dibangunkan dan diuji. Akhir sekali hasil keputusan dari pencirian simulasi dan perkakasan dibandingkan.

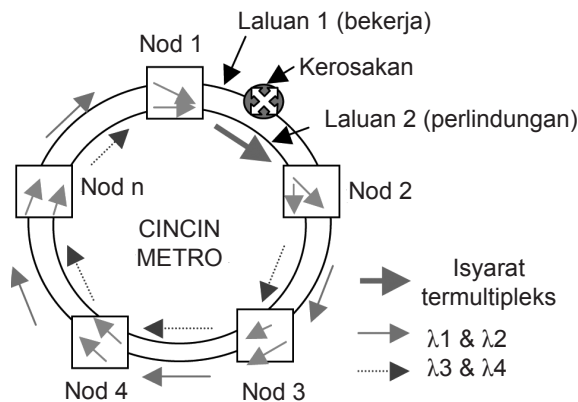
2.0 ARKITEKTUR PERLINDUNGAN

Dalam rangkaian cincin, setiap nod dihubungkan melalui dua talian penghantaran, iaitu talian bekerja dan talian perlindungan. Sebarang kerosakan yang berlaku atau degradasi pada kualiti isyarat pada talian bekerja akan mengarahkan lalu lintas untuk dihantar melalui talian perlindungan. Nod agihan bertanggungjawab untuk mengendalikan mekanisme-mekanisme pembaikpulihan ini menggunakan mekanisme pensuisan perlindungan automatik (*Automatic Protection Switch, APS*) yang berfungsi mencegah kegagalan rangkaian dan memastikan kualiti isyarat penghantaran terjamin.

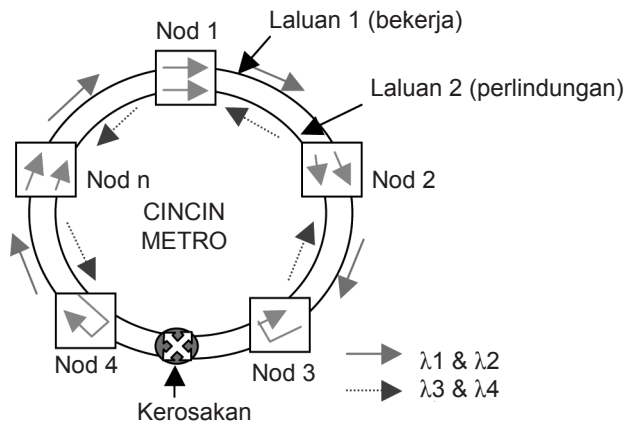
Amnya terdapat dua jenis arkitektur perlindungan, iaitu perlindungan linear dan juga perlindungan cincin [1].

Perlindungan linear – Perlindungan bahagian multipleks linear (*linear multiplex section protection*, linear MSP) menurut kepada ITU-TG.783 dan ANSI T1.105.1 bagi sambungan titik ke titik). Skema perlindungan ini ditunjukkan dalam Rajah 1.

Perlindungan cincin – Cincin perlindungan terkongsi bahagian multipleks (*multiplex section shared protection ring*, MSSP ring) menurut kepada ITU-TG.841 and ANSI T1.105.1 untuk struktur cincin. Skema perlindungan ini ditunjukkan dalam Rajah 2.



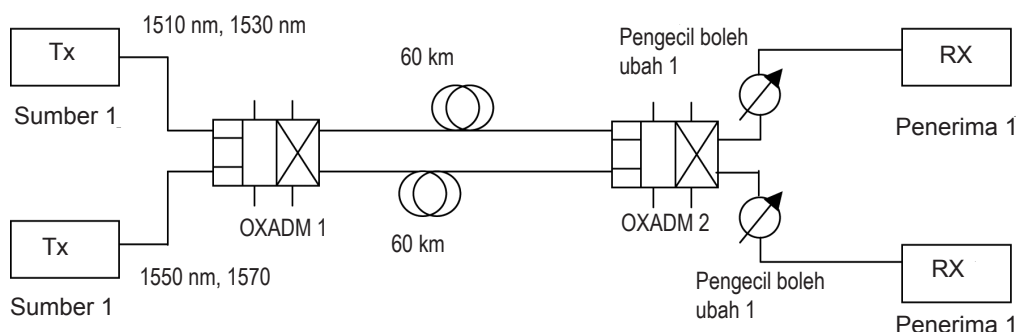
Rajah 1 Mekanisme perlindungan linear dalam rangkaian cincin metro. Apabila berlaku talian rosak, trafik akan disuisikan ke laluan perlindungan



Rajah 2 Mekanisme perlindungan cincin dalam rangkaian cincin metro. Apabila berlaku kerosakan kabel atau nod, nod yang berdekatan dengan kawasan kerosakan akan memusingkan isyarat ke laluan perlindungan dan seterusnya mengkuarantinkan kawasan kerosakan tersebut

3.0 JARAK MAKSIMUM DALAM RANGKAIAN TITIK KE TITIK

Gentian optik dengan serakan tak linear (pemalar pengecilan, $\alpha = 0.25$ dB/km) digunakan untuk menghubungkan dua nod OXADM pada jarak 60 km (Rajah 3). Lima nilai lesapan (yang mempunyai nilai hampir sama dengan lesapan bagi setiap operasi OXADM) dipilih untuk mengangarkakan prestasi BER dalam rangkaian ini.



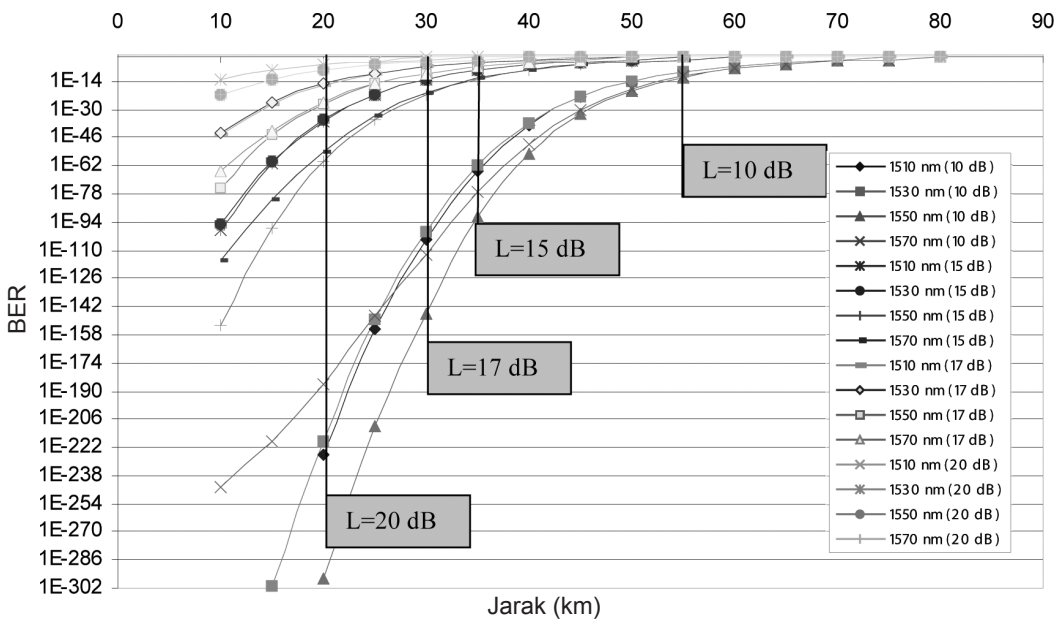
Rajah 3 Reka bentuk rangkaian titik ke titik menggunakan OXADM sebagai nod optik. Nilai lesapan OXADM dilaraskan menggunakan pengecil boleh ubah

Rajah 4 menunjukkan hubungan antara jarak antara dua nod dan prestasi BER bagi rangkaian titik ke titik pada nilai pengecilan yang berbeza. Rumusan daripada kajian ini dinyatakan dalam Rajah 5. Pengecilan dalam kajian ini akan mewakili jumlah lesapan yang terjana dalam sistem komunikasi optik ini. Nilai jarak maksimum untuk pengecilan 10 dB adalah 55 km, 15 dB adalah 35 km, 17 dB adalah 30 km dan 20 dB adalah 15 km. Persamaan linear yang terbentuk memberikan kecerunan, $m = -3.9151$ menunjukkan setiap kenaikan 1 dB pada nilai pengecilan mengurangkan jarak penghantaran data sebanyak -3.9151 km. Dapat disimpulkan di sini peningkatan pada lesapan akan mengurangkan jarak penghantaran data [5]. Jarak maksimum dalam rangkaian titik ke titik OXADM diperoleh melalui persamaan (1). Oleh kerana lesapan sisipan sebenar OXADM adalah 6 dB membolehkan jarak maksimum yang dicapai dalam rangkaian titik ke titik adalah 71 km tanpa sebarang penguat.

Rajah 4 menunjukkan kesan jarak penghantaran data terhadap prestasi BER bagi rangkaian titik ke titik pada pengecilan yang berbeza. Pengecilan disetkan pada 0 dB hingga ke 20 dB. Diperhatikan pada graf-graf tersebut, garisan sempadan bagi $BER=10^{-9}$ berganjak ke kiri dengan peningkatan nilai pengecilan. Ini menunjukkan dengan peningkatan kuasa lesapan peranti, jarak penghantaran data juga akan

berkurangan. Pada kuasa lesapan sifar, garisan sempadan BER berada pada 95 km manakala pada lesapan 20 dB, garisan sempadan BER=10⁻⁹ ini berada pada 14 km. Ini menunjukkan jarak penghantaran data berkadaran secara songsang dengan kuasa lesapan peranti. Kadar kemerosotan jarak penghantaran data terhadap peningkatan nilai lesapan adalah 3.92 km/dB sebagaimana ditunjukkan dalam Rajah 7 dan persamaan (1).

$$y = -3.9151x + 94.434 \tag{1}$$

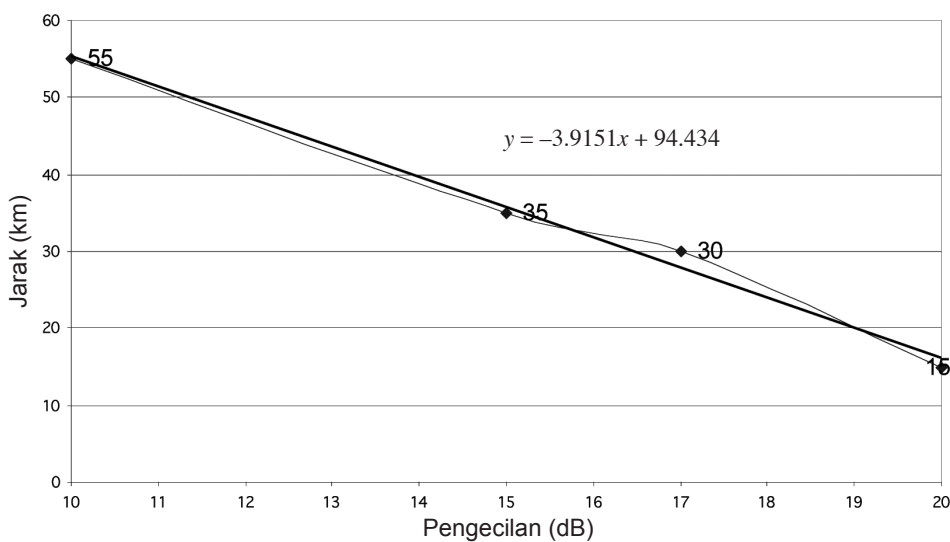


Rajah 4 Jarak maksimum pada pengecilan berbeza (10 dB hingga 20 dB) untuk rangkaian titik ke titik OXADM 2.5 Gbps

Melalui persamaan (1), jarak maksimum dalam sesuatu rangkaian titik ke titik diberikan oleh persamaan (2)

$$L = \frac{P - l_{OXADM}}{\alpha} \tag{2}$$

- L = Jarak maksimum, km
- P = Anggaran kuasa, dB (keadaan unggul)
- l_{OXADM} = Lesapan sisipan OXADM, dB (teori produk)
- α = Pemalar gentian, dB/km



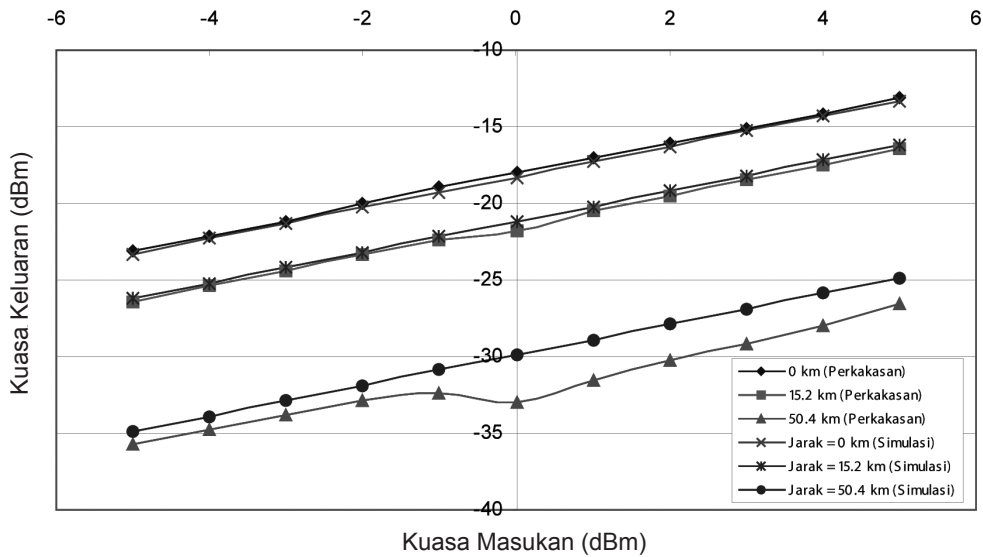
Rajah 5 Jarak rangkaian yang dibenarkan pada pengecilan tertentu untuk rangkaian titik ke titik pada kesensitifan -28.4 dBm (1550 nm pada OC-48)

3.0 SKEMA PERLINDUNGAN DALAM RANGKAIAN TITIK KE TITIK

Rajah 6 hingga 11 menunjukkan perbandingan pengukuran kuasa yang diterima dan prestasi BER untuk tiga operasi OXADM dalam rangkaian keselamatan titik ke titik pada OC-48, iaitu laluan terus, perlindungan linear dan perlindungan cincin. Laluan terus merupakan laluan isyarat merentasi OXADM dalam keadaan normal tanpa berlaku sebarang kerosakan dalam talian. Kesensitifan peka foto untuk pencirian simulasi adalah -25 dBm (hingar terma = 3.1347×10^{-23} W/Hz) manakala untuk pencirian perkakasan adalah -30 dBm. Tujuan perbandingan ini adalah untuk mendapat sisihan pengukuran melalui kaedah simulasi dan perkakasan untuk tiga operasi utama OXADM.

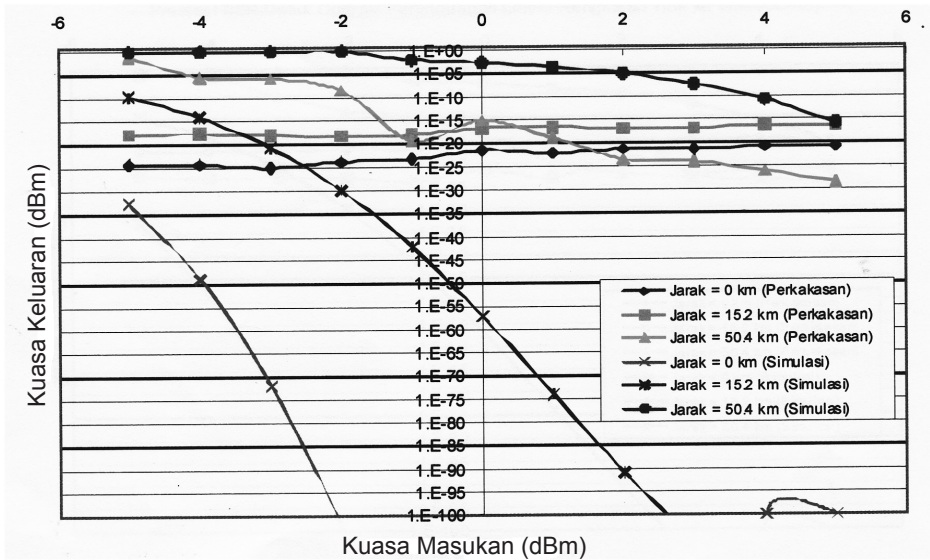
Rajah 6, 8 dan 10 memberikan sisihan yang kurang daripada 1.5 dB menunjukkan kuasa yang diterima pada penerima untuk operasi laluan terus, perlindungan linear 1:1 dan perlindungan cincin bagi tiga jarak penghantaran berbeza adalah pada magnitud yang sama. Ini menunjukkan pencirian secara simulasi dan perkakasan memberikan ketepatan bacaan yang serupa. Kadar peningkatan kuasa diterima terhadap kuasa masukan juga sama, iaitu 0.99.

Oleh kerana kesensitifan penerima adalah berbeza, nilai BER untuk ketiga-tiga jarak penghantaran juga berbeza. Walau bagaimanapun prestasi BER untuk ketiga-tiga operasi OXADM ini adalah sama berdasarkan analisis batasan pada titik

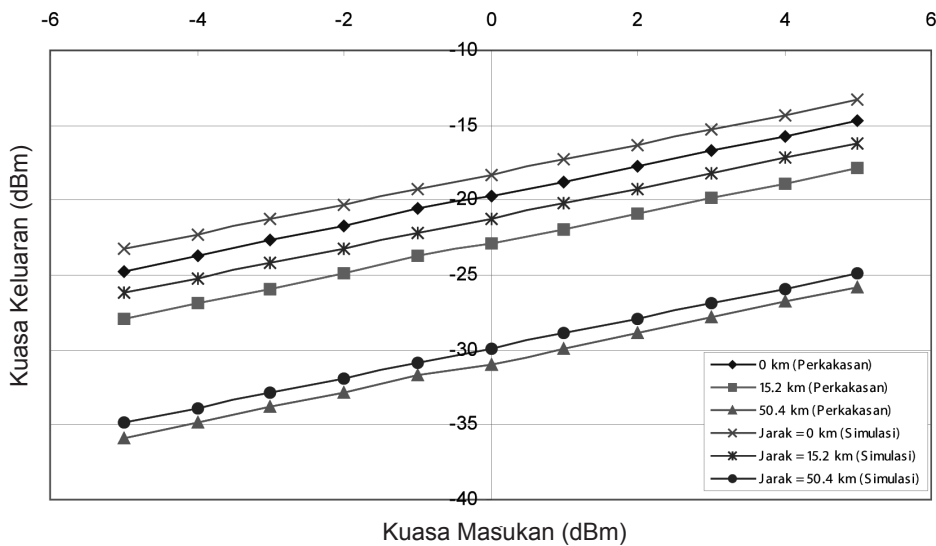


$y = 0.9994x - 19.691$ (0 km - Perkakasan)	$y = x - 18.295$ (0 km - Simulasi)
$y = 1.0004x - 22.898$ (15.2 km - Perkakasan)	$y = 0.9998x - 21.199$ (15.2 km - Simulasi)
$y = 1.0011x - 30.835$ (50.4 km - Perkakasan)	$y = 0.9995x - 29.889$ (50.4 km - Simulasi)

Rajah 6 Perbandingan kuasa diterima secara simulasi dan perkakasan untuk operasi laluan terus rangkaian titik ke titik OXADM (OC-48)

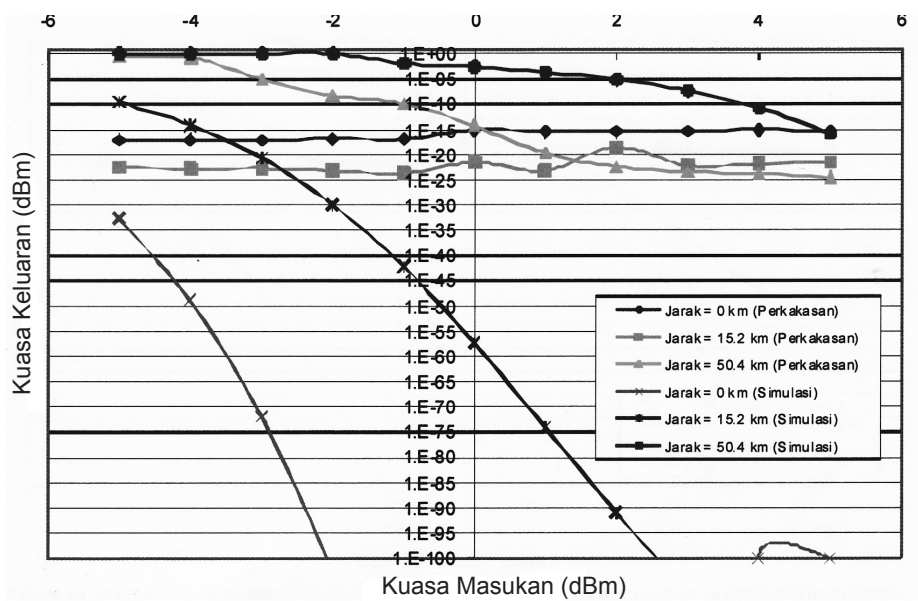


Rajah 7 Perbandingan prestasi BER secara simulasi dan perkakasan untuk operasi laluan terus rangkaian titik ke titik OXADM (OC-48)

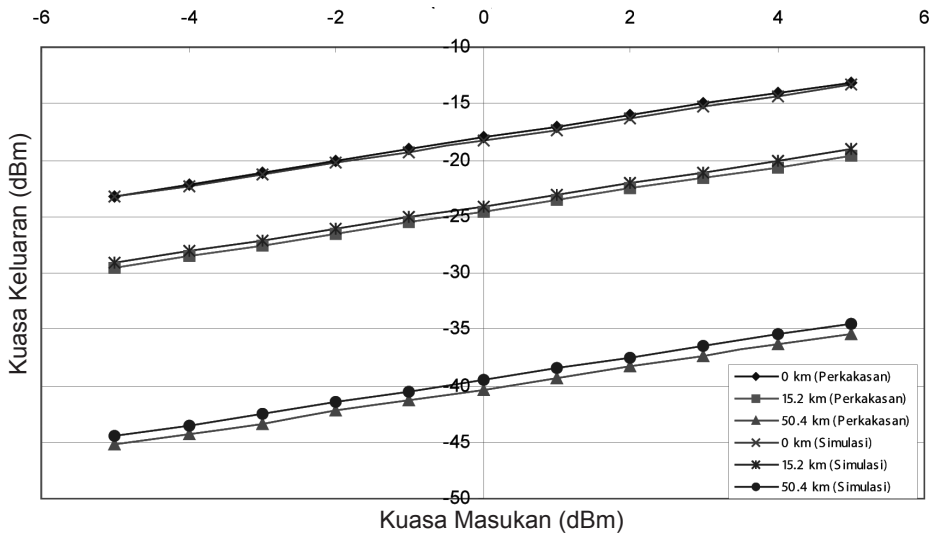


$y = 1.0023x - 19.691$ (0 km - Perkakasan)	$y = x - 18.295$ (0 km - Simulasi)
$y = 1.0004x - 22.898$ (15.2 km - Perkakasan)	$y = 0.9998x - 21.199$ (15.2 km - Simulasi)
$y = 1.0011x - 30.835$ (50.4 km - Perkakasan)	$y = 0.9995x - 29.889$ (50.4 km - Simulasi)

Rajah 8 Perbandingan kuasa diterima secara simulasi dan perkakasan untuk operasi perlindungan linear 1:1 rangkaian titik ke titik OXADM (OC-48)

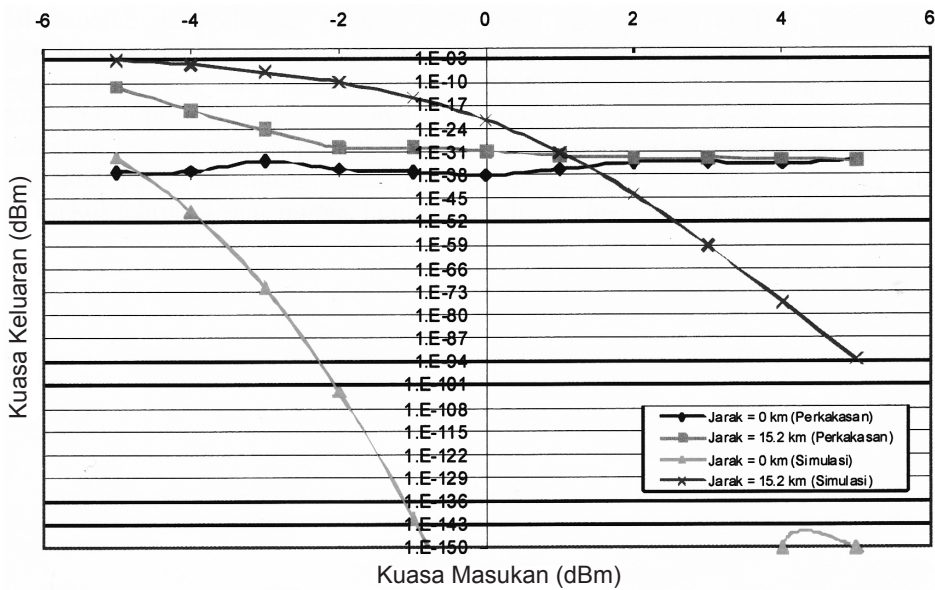


Rajah 9 Perbandingan prestasi BER secara simulasi dan perkakasan untuk operasi perlindungan linear 1:1 rangkaian titik ke titik OXADM (OC-48)



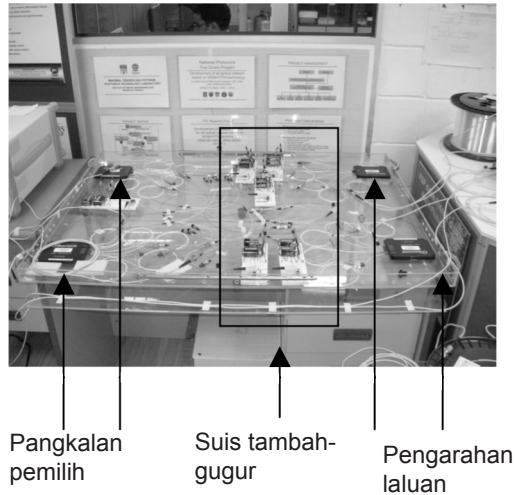
$y = 1.0054x - 18.102$ (0 km - Perkakasan)	$y = x - 18.295$ (0 km - Simulasi)
$y = 0.9891x - 24.538$ (15.2 km - Perkakasan)	$y = 0.9997x - 24.088$ (15.2 km - Simulasi)
$y = 0.9868x - 40.312$ (50.4 km - Perkakasan)	$y = 0.9993x - 39.466$ (50.4 km - Simulasi)

Rajah 10 Perbandingan kuasa diterima secara simulasi dan perkakasan untuk operasi perlindungan cincin rangkaian titik ke titik OXADM (OC-48)

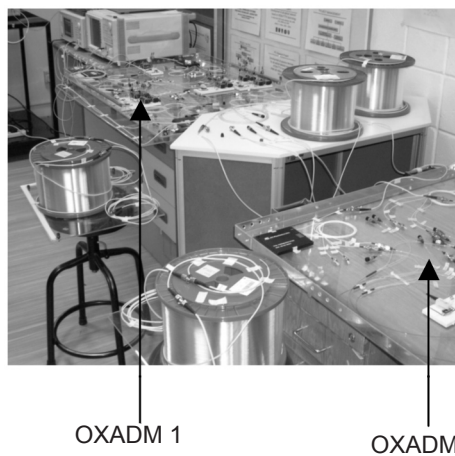


Rajah 11 Perbandingan prestasi BER secara simulasi dan perkakasan untuk operasi perlindungan cincin rangkaian titik ke titik OXADM (OC-48)

pengukuran BER. Ini ditunjukkan oleh Rajah 7, 9 dan 11 yang mewakili prestasi BER untuk tiga operasi utama OXADM dalam rangkaian titik ke titik.



Rajah 12 Prototaip OXADM dibangunkan secara perkakasan. OXADM terdiri daripada 3 bahagian utama iaitu; pangkalan pemilih, suis tambah-gugur dan pengarah laluan



Rajah 13 Dua Prototaip OXADM diuji dalam rangkaian titik ke titik (P2P) menggunakan pengujian analog dan pengujian berdigit (untuk mengukur prestasi)

4.0 KESIMPULAN

OXADM merupakan peranti optik baru yang memenuhi tuntutan dari segi keselamatan rangkaian yang mengintegrasikan tiga jenis mekanisme keselamatan rangkaian utama di dalam satu arkitektur. Dengan lesapan sisipan yang rendah iaitu 6 dB membolehkan peranti ini dihubungkan dalam rangkaian titik ke titik sepanjang 71 km tanpa penjanaan semula. Semasa perlindungan linear diaktifkan tiada sebarang pengecilan yang berlaku apabila dibandingkan dengan keadaan normal. Perlindungan cincin pula memberikan sebanyak 2 dB akibat daripada mekanisme perautan pusingan U apabila dibandingkan dengan kuasa yang melalui setiap nod dalam keadaan normal. Ciri 'Pengumpulan' dan perautan pusingan U dalaman inilah yang membezakan OXADM dengan peranti-peranti yang ada di pasaran seperti OADM, OXC, ROADM dan OXN. Kelemahan yang ketara berbanding OXADM dengan peranti-peranti lain adalah dari segi ciri penskalaannya, di mana bilangan maksimum panjang gelombang OXADM yang boleh dioperasikan adalah separuh daripada bilangan panjang gelombang pada peranti OADM, begitu juga dengan bilangan pangkalan masukan dan keluaran [7][13–16]. Ini disebabkan oleh ciri 'Pengumpulan' yang ada dalam arkitektur OXADM menghadkan bilangan panjang gelombang dan pengkalan operasinya [7]. Untuk meningkatkan kecekapan peranti ini, dicadangkan lesapan sisipan peranti OXADM ini dikurangkan menerusi pembangunan secara teknik pandu gelombang planar [11]. Selain dari saiz peranti yang dijangka lebih kecil dan kos fabrikasi yang murah, jumlah pengeluaran juga dapat ditingkatkan.

RUJUKAN

- [1] Acterna Corp. 2005. Efficient Testing of Synchronous Rings. Available: <http://www.acterna.com/global/products/ANT/>.
- [2] Tzanakaki, A., Zacharopoulos, I. and Tomkos, I. 2003. Optical add/drop Multiplexers and optical cross-connects for wavelength routed network. *ICTON*. 41–46
- [3] Mutafungwa, E. 2000. An Improved Wavelength-selective All Fiber Cross-connect Node. *IEEE Journal of Applied Optics*. 63–69.
- [4] EXFO. 2008. *FTB-5200 Optical Spectrum Analyser*. EXFO Electro-Optical Engineering Inc, Canada.
- [5] G. Keiser. 2000. *Optical Fiber Communications*: Singapore: McGraw-Hill
- [6] Eldada, L. and Nunen, J. V. 2000. Architecture and Performance Requirements of Optical Metro Ring Nodes in Implementing Optical Add/drop and Protection Functions. *Telephotonics Review*.
- [7] 'Rahman, M. S. A., Ehsan, A. A. and Shaari, S. 2006. Analytical Modeling of Optical Cross Add and Drop Multiplexing Switch. *Proceeding 2006 IEEE International Conference on Semiconductor Electronics*, pub. IEEE Malaysia Section. 290–293.

- [8] ²Rahman, M. S. A., Ehsan, A. A. and Shaari, S. 2006. Mesh Upgraded Ring in Metropolitan Network using OXADM. *Proceeding of the 5th International Conference on Optical Communications and Networks & the 2nd International Symposium on Advances and Trends in Fiber*. 225–227
- [9] ¹Rahman, M. S. A., Ehsan, A. A. and Shaari, S. 2007. Optical Multifunctional Device with OXADM. *2007 Regional Symposium on Microelectronics*. 540–544
- [10] ²Rahman, M. S. A., Ehsan, A. A., Hussin, H., Bukhori, M. F. and Shaari, S. 2007. Optical Cross Add and Drop Multiplexer (OXADM) in CWDM Ring Network. *Journal of Optical Communication*. 28(3): 201–205.
- [11] Rahman, M. S. A. and Shaari, S. 2004. Modeling of Planar Lightwave Circuit OADM for CWDM. *Proceeding 2004 Postgraduate Conference*. 116–120.
- [12] ³Rahman, M. S. A. and Shaari, S. 2006. OXADM Restoration Scheme: Approach to Optical Ring Network Protection. *IEEE International Conference on Networks*. 371–376.
- [13] ³Rahman, M. S. A., Ehsan, A. A. and Shaari, S. 2006. Survivability in FTTH PON Access Network using Optical Cross Add and Drop Multiplexer Switch. *Journal of Optical Communication. JOC (German)*. 27(5): 263–269.
- [14] Stevens. 2005. Impact of Routing Optimization Strategy on the Transmission Performance of Wavelength Routed Transparent Optical Network. Available: <http://cui.phy.stevens-tech.edu/lab2005/pdf/thesis/YH-thesis.pdf>
- [15] Kirihara, T., Ogawa, M., Inoue, H. and Ishida, K. 1993. Lossless and Low-crosstalk Characteristics in an InP-based 2x2 Optical switch. *IEEE Photonics Technology Letter*. 5: 1059–1061.
- [16] Shen, Y., Lu, K. and Gu. W. 1999. Coherent and Incoherent Crosstalk in WDM Optical Networks. *IEEE Journal Lightwave Technology*. 17(5): 759–764.