

ANALISIS PERFORMANSI TEKNOLOGI DWDM DENGAN PENGUAT OPTIK HYBRID ROA-EDFA BERBASIS SOLITON

1st Tika Nadhiah Barawasi

Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

Tikanadia@student.telkomuniversity.ac.id

Brian Pamukti

Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

brianpam@telkomuniversity.ac.id

Yudiansyah

Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

Abstrak — Peningkatan kebutuhan akan transmisi data berkapasitas besar dan jarak jauh mendorong penggunaan teknologi Dense wavelength division multiplexing (DWDM) dalam sistem komunikasi optik. Namun, tantangan utama pada DWDM adalah redaman dan dispersi sinyal yang terjadi seiring bertambahnya jarak transmisi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performansi sistem DWDM berbasis soliton dengan kombinasi penguat optik hybrid ROA-EDFA dalam dua konfigurasi: ROA sebagai booster amplifier dan sebagai inline amplifier. Selain itu, diteliti pula pengaruh penggunaan dispersion compensation fiber (DCF) dalam meningkatkan kualitas sinyal. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak OptiSystem 7.0 dengan variasi daya laser dari -8 dBm hingga 8 dBm, serta panjang serat optik 30 km, 50 km, dan 100 km. Hasil menunjukkan bahwa konfigurasi ROA sebagai booster amplifier memberikan performa terbaik, terutama jika dikombinasikan dengan DCF, dengan nilai bit error rate (BER) mencapai 10^{-36} . Sebaliknya, penggunaan ROA sebagai inline amplifier menunjukkan penurunan kualitas sinyal pada daya rendah dan jarak jauh. Kesimpulannya, konfigurasi ROA sebagai booster amplifier dengan DCF sangat direkomendasikan untuk sistem DWDM jarak jauh. Penggunaan soliton juga terbukti efektif dalam mempertahankan kestabilan sinyal dan menekan efek dispersi dalam jaringan optik. **Kata kunci**— sortasi pisang, computer vision, ESP8266, teachable machine, otomasi, blynk

I. PENDAHULUAN

Sistem komunikasi optik merupakan solusi ideal untuk transmisi data dengan bit rate yang tinggi. Selain menawarkan kecepatan yang andal, teknologi ini juga menunjukkan ketahanan yang baik terhadap gangguan, seperti noise dan dispersi [1]. Kabel serat optik terdiri dari tiga komponen utama: inti (core), lapisan pelindung luar (cladding), dan lapisan tipis (coating). Inti, yang merupakan bagian paling penting dari serat optik, bertugas mentransmisikan informasi dalam bentuk pulsa cahaya. Cladding, yang mengelilingi inti, dibuat dari bahan yang sama dengan inti namun memiliki indeks bias yang lebih rendah. Bagian paling luar, yaitu coating, berperan melindungi inti dan cladding dari tekanan fisik. Salah satu

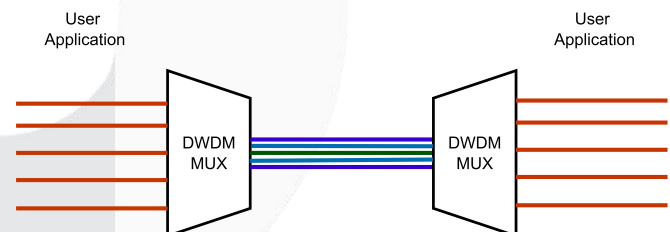
teknologi untuk pengiriman informasi melalui serat optik adalah DWDM. Teknologi DWDM ini merupakan metode multiplexing yang biasa digunakan dalam jaringan optik untuk transmisi jarak jauh antara dua terminal. Tantangan yang muncul akibat redaman dan dispersi pada komunikasi jarak jauh menjadi kendala dalam perencanaan sistem, sehingga diperlukan penguat optik yang kompatibel dengan teknologi multiplexing

II. KAJIAN TEORI

Menyajikan dan menjelaskan teori-teori yang berkaitan dengan variabel-variabel penelitian. Poin subjudul ditulis dalam abjad.

A. Teknologi DWDM

DWDM adalah sebuah teknik transmisi yang menggunakan cahaya pada berbagai panjang gelombang berbeda sebagai saluran informasi. Dengan melakukan multiplexing, berbagai panjang gelombang ini dapat digabungkan dan dikirimkan melalui satu serat optik [2].



Gambar 1 Konsep DWDM

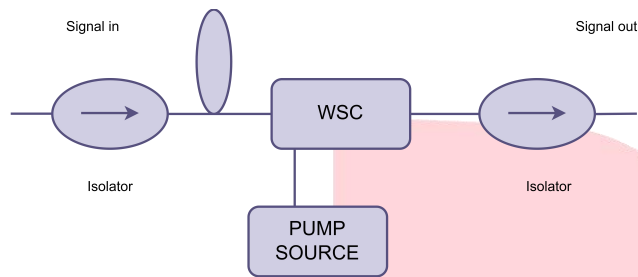
B. Soliton

Soliton adalah jenis pulsa yang dapat mempertahankan bentuknya saat ditransmisikan melalui serat optik. Namun, apabila tidak disinkronkan dengan baik, soliton dapat menyebabkan interferensi antar kanal yang berpotensi menurunkan performa sistem DWDM. Pulsa soliton, yang berpropagasi melalui serat optik, dapat digambarkan dengan bentuk pulsa hiperbolik sekant. Di sisi lain, pulsa Gaussian sering digunakan untuk mewakili sistem komunikasi optik konvensional. Perbedaan antara pulsa hiperbolik sekant dan soliton terlihat pada lebarnya kaki pulsa, dimana pulsa hiperbolik sekant memiliki kaki yang lebih lebar daripada pulsa Gaussian. Pelemahan intensitas pulsa terjadi karena

kerugian dalam serat optik, yang juga mempengaruhi pulsa soliton [8].

C. Erbium Dopped Fiber Amplifier

EDFA adalah serat optik yang intinya terdopani dengan ion erbijum, yang dalam proses emisinya memberikan penguatan terhadap sinyal masukan yang melalui serat tersebut. EDFA beroperasi di window optik ketiga, yang mencakup rentang panjang gelombang sekitar 1550 nm [2].



Gambar 2 Konsep EDFA

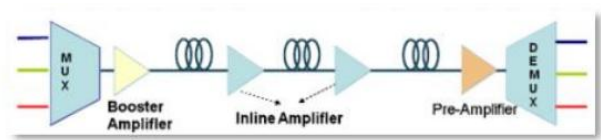
D. Raman Optical Amplifier

Penguat raman berbasis serat menggunakan efek hamburan raman terstimulasi stimulated raman scattering (SRS) yang terjadi di dalam serat silika ketika sinar pompa yang kuat melewati serat tersebut. Penguat raman memerlukan pompa optik untuk memberikan penguatan. Dalam konfigurasi umum, pompa dan sinyal bergerak dalam arah yang berlawanan, yang dikenal sebagai konfigurasi pompa mundur. Pompa dan sinyal memancarkan cahaya pada frekuensi ω_p dan ω_s yang disuntikkan ke dalam serat melalui kopler serat. Energi dipindahkan dari sinar pompa ke sinar sinyal melalui proses SRS karena interaksi antara keduanya di dalam serat [2].

E. Hybrid Optical Amplifier

Salah satu cara optimal untuk memanfaatkan bandwidth serat yang tersedia adalah dengan menggunakan berbagai kombinasi penguat optik dalam rentang panjang gelombang yang berbeda, baik secara seri maupun paralel. Konfigurasi ini dikenal sebagai hybrid amplifier. Konfigurasi paralel adalah yang paling sederhana dan dapat diterapkan pada semua jenis penguat. Namun, konfigurasi ini memiliki kelemahan seperti daerah panjang gelombang yang tidak dapat dimanfaatkan antara setiap pita penguatan yang berasal dari guard band pada kopler. Selain itu, degradasi pada faktor kebisingan terjadi karena kehilangan pada kopler yang terletak di depan masing-masing penguat. Sebaliknya, penguat yang dihubungkan secara seri menawarkan bandwidth yang lebih luas karena konfigurasi ini tidak memerlukan kopler [8].

F. Implementasi Penguat Optik



Gambar 3 Implementasi Penguat Optik

1. Booster Amplifier

Booster amplifier dipasang di ujung transmisi jaringan serat optik untuk meningkatkan kekuatan sinyal optik yang dikirim melalui link serat. Biasanya digunakan dalam jaringan DWDM di mana multiplexer dapat menyebabkan penurunan kekuatan pada saluran sinyal [9].

2. In-Line Amplifier

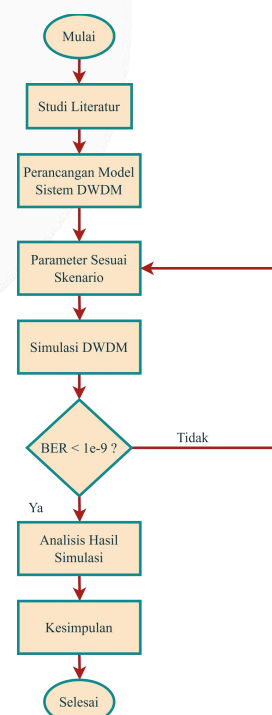
Inline amplifier adalah jenis penguat optik di mana penguat optik ditempatkan diantara serat optik. Penguat optik inline digunakan untuk mengatasi pelemahan sinyal cahaya sehingga tidak perlu lagi melakukan regenerasi sinyal cahaya [9].

3. Pre Amplifier

Penguat optik pre-amplifier adalah jenis aplikasi penguat optik yang ditempatkan setelah serat optik. Pre-amplifier bertugas untuk meningkatkan kekuatan sinyal cahaya yang dikirim melalui serat optik sebelum sinyal tersebut sampai ke fotodetektor. Hal ini membantu mengurangi penurunan signal-to-noise ratio yang disebabkan oleh noise termal di fotodetektor. Dengan meningkatkan tingkat daya, sensitivitas penerima dapat ditingkatkan sehingga meningkatkan anggaran daya link (link budget) [9].

III. METODE PENELITIAN

A. Alur Penelitian

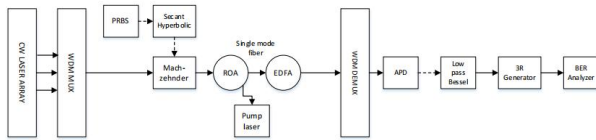


Gambar 4 Diagram Alir

B. Skenario Penelitian

Dalam penelitian ini, penulis menguji kinerja BER dan Q-Factor dengan memvariasikan panjang serat optik dan daya laser. Peneliti mempelajari pengaruh perubahan lokasi pemasangan penguat optik, yang terdiri dari dua metode, termasuk booster amplifier (ditempatkan setelah transmitter). Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan tingkat daya sinyal

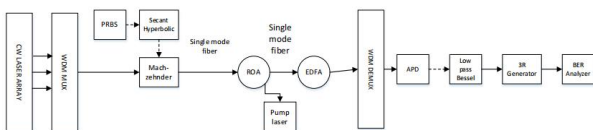
1. Skenario Booster Amplifier



Gambar 5 Skenario Booster Amplifier

Gambar 5 menunjukkan skema dari skenario booster-preamplifier. Pada skema ini, penguat ROA ditempatkan sebagai booster dan penguat EDFA ditempatkan sebagai pre-amplifier.

2. Skenario Inline Amplifier



Gambar 6 Skenario Inline Amplifier

Gambar 6 di atas menggambarkan penempatan penguat ROA sebagai Inline dan penguat EDFA sebagai pre-amplifier. Dalam setiap skenario ini, uji BER dan Q-Factor akan dilakukan dengan memvariasikan daya input dan panjang serat optik.

C. Parameter

1. Standar ITU - T G.655

Tabel 1 Parameter SMF

Parameter	Nilai	Satuan
Panjang link	30,50,100	Km
Atenuasi	0.3	dB/km
Lamda referensi	1550	Nm
Dispersi	18,6	Ps/nm/km
Efektif core area	80	μm^2
Dispersion slope	0,075	Ps/ $\mu\text{m}^2/\text{k}$

2. Parameter Penguat EDFA

Tabel 2 Parameter EDFA

Parameter	Nilai	Satuan
Number of amplifier	1	-
Core radius	2,2	μm
Er Doping radius	2,2	μm
Numerical aperture	0,24	-
Loss at 1550	0,1	dB/km
Loss at 980	0,15	dB/km
Panjang EDF	4	m
Forward pump power	0,35	W
Backward pump power	1	W
Lamda pompa	980	mW
Power pompa	25	mW

3. Parameter Penguat ROA

Tabel 3 Parameter ROA

Parameter	Nilai	Satuan
Efektif interaksi	72	μm^2
atenuasi	0,2	dB/km
Panjang link	10	km
Power pompa	130	mW
Lamda pompa	1510	nm
Temperatur	300	K
Panjang gelombang	1550	nm
Upper pump	1510	nm
Jumlah amplifier	1	-

4. Parameter DWDM

Tabel 4 Parameter DWDM

Parameter	Nilai	Satuan
Number of input ports	32	-
Bandwidth	100	GHz
Insertion loss	0	dB
Depth	100	dB
Filter order	2	-

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Perfoma BER Terhadap Perubahan Daya Dengan ROA Sebagai Booster Amplifier

1. Studi Kinerja Menggunakan Kabel SMF

Studi kinerja BER saat daya transmisi diubah dengan jarak 30, 50, 100 km menggunakan kabel SMF

Tabel 5 Studi Kinerja Menggunakan Kabel SMF

Daya (dBm)	Jarak 30 SMF	Jarak 50 SMF	Jarak 100 SMF
-8	4,05E-10	1,34E-09	0,011
-4	8,89E-10	6,96E-10	0,005
-2	3,51E-10	5,82E-10	0,004
0	3,55E-10	5,32E-10	0,002
2	2,16E-10	5,29E-10	0,003
4	3,53E-10	4,10E-10	0,002
8	2,03E-10	2,00E-10	0,002

Berdasarkan Tabel 5, performansi BER memburuk seiring bertambahnya jarak transmisi. Pada jarak 30 km, BER stabil dan sangat rendah di semua level daya. Pada jarak 50 km, BER mulai membaik saat daya meningkat. Sementara itu, pada jarak 100 km, BER sangat tinggi pada daya rendah dan baru stabil pada daya 0 dBm ke atas. Hal ini menunjukkan bahwa semakin jauh jaraknya, semakin besar daya yang dibutuhkan untuk menjaga kualitas sinyal.

2. Studi Kinerja Menggunakan Kabel DCF

Studi kinerja BER saat daya transmisi diubah dengan jarak kabel SMF 30, 50, 100 km ditambah kompensasi dispersi kabel DCF masing-masing sepanjang 6,56 km, 10,94 km, 21,88 km.

Tabel 6 Studi Kinerja Menggunakan Kabel DCF

Daya (dBm)	Jarak 6,56 DCF	Jarak 10,94 DCF	Jarak 21,88 DCF
-8	4,19E-28	1,34E-12	1
-4	5,07E-30	3,77E-15	1
-2	4,35E-31	5,32E-16	1
0	5,84E-31	1,64E-16	0,87
2	1,26E-31	7,87E-17	0,04
4	1,17E-31	1,60E-17	0,00
8	5,22E-36	3,27E-19	0,00

Berdasarkan Tabel 6, performansi BER terbaik diperoleh pada panjang DCF 6,56 km dengan nilai sangat rendah di semua daya. Pada DCF 10,94 km, BER sedikit lebih tinggi namun masih dalam batas baik. Sementara itu, DCF 21,88 km menunjukkan BER sangat buruk ($BER = 1$) pada daya rendah, dan baru membaik pada daya 0 dBm ke atas. Hal ini menunjukkan bahwa semakin panjang DCF, semakin besar daya yang dibutuhkan untuk menjaga kualitas sinyal, sehingga pemilihan panjang DCF yang tepat sangat penting.

B. Analisis Performa BER Terhadap Perubahan Daya Dengan ROA Sebagai Inline

1. Studi Kinerja Menggunakan Kabel SMF

Tabel 7 Studi Kinerja Menggunakan Kabel SMF

Daya (dBm)	Jarak 30 SMF	Jarak 50 SMF	Jarak 100 SMF
-8	1,87E-09	9,72E-09	0,908
-4	2,19E-10	9,07E-10	0,004

Daya (dBm)	Jarak 30 SMF	Jarak 50 SMF	Jarak 100 SMF
-2	3,67E-10	6,07E-10	0,069
0	3,35E-10	5,34E-10	0,003
2	2,16E-10	7,75E-10	0,002
4	3,29E-10	6,30E-10	0,003
8	4,04E-10	2,29E-10	0,002

Berdasarkan Tabel 7, pada jarak 30 km dan 50 km, nilai BER cenderung rendah dan stabil di semua level daya, menandakan kualitas sinyal masih baik. Namun, pada jarak 100 km, BER sangat tinggi (0,908) saat daya -8 dBm dan baru menurun drastis saat daya meningkat, menjadi stabil di kisaran 0,002 hingga 0,004 pada daya 0 dBm ke atas. Hal ini menunjukkan bahwa semakin jauh jarak transmisi, semakin besar daya yang diperlukan untuk mempertahankan performansi sinyal yang baik.

2. Studi Kinerja Menggunakan Kabel DCF

Tabel 8 Studi Kinerja Menggunakan Kabel DCF

Daya (dBm)	Jarak 6,56 DCF	Jarak 10,94 DCF	Jarak 21,88 DCF
-8	1,44E-28	1,09E-12	1
-4	3,25E-30	3,30E-15	1
-2	3,95E-31	4,32E-16	1
0	1,69E-31	1,03E-16	1
2	2,24E-31	5,20E-17	0,036
4	9,32E-33	3,12E-17	0,005
8	8,78E-36	8,07E-21	0,000

Berdasarkan Tabel 8, panjang DCF 6,56 km menghasilkan performa terbaik dengan nilai BER sangat rendah dan stabil di semua level daya. DCF 10,94 km juga menunjukkan hasil baik, meskipun sedikit lebih tinggi. Sementara itu, DCF 21,88 km menghasilkan $BER = 1$ pada daya rendah, yang menandakan sinyal tidak dapat diterima, dan baru membaik secara signifikan pada daya 2 dBm ke atas. Hal ini menunjukkan bahwa panjang DCF yang terlalu besar dapat memperburuk performansi jika tidak diimbangi dengan daya yang cukup.

V. KESIMPULAN

Perbandingan performa sistem DWDM antara ROA sebagai booster dan inline amplifier: Hasil simulasi menunjukkan bahwa penempatan ROA sebagai booster amplifier menghasilkan performa sistem DWDM yang lebih stabil dan unggul, terutama dalam kondisi daya rendah dan jarak transmisi jauh. Pada konfigurasi ini, nilai BER tetap berada di bawah ambang standar ITU-T ($< 1 \times 10^{-9}$), bahkan untuk jarak hingga 100 km dengan daya kirim tinggi. Sebaliknya, saat ROA digunakan sebagai inline amplifier, performa sistem cenderung menurun, terutama pada daya rendah dan jarak jauh, di mana nilai BER bisa mencapai 1 (sinyal tidak dapat diterima).

Pengaruh penggunaan DCF (Dispersion Compensation Fiber): Penggunaan DCF terbukti sangat efektif dalam menurunkan nilai BER dan meningkatkan kualitas sinyal optik. Penambahan DCF pada sistem DWDM, terutama saat dikombinasikan dengan ROA sebagai booster amplifier, mampu menjaga kestabilan sinyal bahkan pada skenario

daya rendah dan jarak menengah. Nilai BER terbaik yang dicapai adalah hingga orde 10^{-36} , jauh di bawah batas standar. Namun, pada konfigurasi inline amplifier dengan jarak sangat jauh, DCF saja tidak cukup tanpa dukungan daya kirim tinggi.

REFERENSI

- [1] Khair, F., Amiludin, A., Pratama, A., Gustiyana, F., Rahmawan, R., & Reza, Y. (2021). Perancangan Sistem Optik DWDM 8 Kanal dengan Penguat EDFA. (Journal of Telecommunication, Electronics, and Control Engineering (JTECE)), 3(1), 24-40. <https://doi.org/10.20895/jtece.v3i1.228>
- [2] R. P. Prakoso, E. Wahyudi, and K. Masykuroh, "Optimalisasi Bit Error Rate (BER) jaringan optik hybrid pada sistem DWDM berbasis Soliton," *Journal of Telecommunication, Electronics, and Control Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 62–70, Sep. 2021, doi: 10.20895/jtece.v3i2.320.
- [3] D. A. Prestanty, "SIMULASI DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING (DWDM) DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI CISCO PACKET TRACER," *ejurnal.politeknikpratama.ac.id*, May 2023, doi: 10.55606/juprit.v2i2.1737.
- [4] Taufik Akbar, "Analisis Performansi Ber Pada Jaringan Optik Dense Wavelength Divisio Multiplexing Menggunakan Penguat Hybrid Raman Edfa," *e Proceeding of Engineering*, vol. Vol.6, No.2 Agustus 2019, no. 2355–9365, 2019, [Online]. Available: <https://openlibrarypublication.s.telkomuniversity.ac.id/index.php/enineering/article/view/9683>
- [5] J. R. Muhammad, "Perencanaan pada sistem transmisi DWDM dengan sistem Optical Transport Network (OTN)," Sep. 05, 2023. <https://journal.aptti.or.id/index.php/Repeater/article/view/25>
- [6] A. P. W. Nugraha, "Perancangan jaringan backbone optik 4G LTE DWDM di Kabupaten Bandung Selatan," *ejournal.itn.ac.id*, Feb. 2019, doi: 10.36040/seniati.v5i2.766.
- [7] Lazuardi Ramadeanto1, Akhmad Hambali2, Brian Pramukti3, 2018, "PERFORMANSI EDFA DI SETIAP BIT RATE YANG DIKIRIMKAN DARI TRANSMITTER KE RECEIVER PADA JARAK 50KM PADA SISTEM," Universitas Telkom, Jurnal, Bandung, Jawa Barat, Indonesia
- [8] P. M. Guarango, "Analisis Perbandingan Performansi Posisi Penguat Optik Hybrid SOA – EDFA dengan Raman – EDFA Pada Sistem DWDM," $\gamma\pi\tau$, no. 8.5.2017, pp. 2003–2005, 2022.