

Perancangan dan Analisis Sistem Komunikasi Serat Optik Link Makassar-Maumere Menggunakan DWDM

Fitria Ayu Nurdiana¹, Sugito², Sofia Naning Hertiana³

Abstract— Today, the Palapa Ring project launched by the government is focused on development in Eastern Indonesia. The fiber optic is chosen for backbone network because fiber optics have wide bandwidth, thus allowing delivery of messages on various services. This study designs an optical backbone network for connecting Makassar and Maumere. This design uses several parameters, both technical and non-technical, such as human activities and sea conditions connecting the two regions. This design also uses the power link budget and the rise-time budget as reliability parameters. The results show that maximum BER is 5.892×10^{-11} , which is still below the standard, 10^{-9} .

Intisari— Proyek Palapa Ring yang dicanangkan pemerintah saat ini sedang difokuskan pada pembangunan di kawasan Indonesia Timur. Pemilihan fiber optik pada jaringan *backbone* dikarenakan fiber optik memiliki *bandwidth* yang lebar, sehingga memungkinkan pengiriman pesan pada berbagai layanan dapat direalisasikan dengan baik. Pada makalah ini dirancang jaringan *backbone* fiber optik untuk menghubungkan kawasan Makassar hingga Maumere. Perancangan ini memperhitungkan beberapa parameter, baik secara teknis maupun nonteknis seperti aktivitas manusia maupun kondisi laut yang menghubungkan kedua kawasan tersebut, serta melakukan pengujian terhadap *power link budget* dan *rise-time budget* sebagai parameter keandalan sistem. Dari hasil rancangan, didapatkan nilai BER terbesar adalah $5,892 \times 10^{-11}$ yang masih berada di bawah standar BER maksimum 10^{-9} .

Kata Kunci— Palapa Ring, *bandwidth forecasting*, *backbone*, DWDM

I. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan teknologi, bidang telekomunikasi ikut berkembang dengan meningkatnya berbagai kebutuhan masyarakat. Kemajuan dalam teknologi informasi juga ikut berkembang sangat pesat baik informasi suara maupun data. Fasilitas layanan yang bermacam-macam menuntut tingkat pelayanan yang maksimal dengan mengutamakan ketepatan dan kecepatan pengiriman informasi. Pemerintah bersama perusahaan di bidang telekomunikasi membangun suatu proyek besar yang dinamakan Palapa Ring. Proyek ini merupakan jaringan serat optik *wideband* yang berbentuk cincin dan menghubungkan seluruh pulau besar di Indonesia baik melewati dasar laut maupun melewati daratan.

¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Telekomunikasi Fakultas Elektro Universitas Telkom, Jln.Telekomunikasi No.1, Terusan Buah Batu, Bandung 40257, Jawa Barat INDONESIA (telp:+62227564108; fax: +62227565200; e-mail: fitriaay.nurdiana@gmail.com)

^{2,3}Dosen, Jurusan Teknik Telekomunikasi Fakultas Elektro Universitas Telkom, Jln.Telekomunikasi No.1, Terusan Buah Batu, Bandung 40257, Jawa Barat INDONESIA (telp:+62227564108; fax: +62227565200; e-mail: sugito@telkomuniversity.ac.id, sofiananing@telkomuniversity.ac.id)

Saat ini, proyek Palapa Ring sudah berhasil membangun beberapa *ring* besar di kawasan Indonesia. Namun, pada *ring* 11 proyek belum selesai dikerjakan, yakni jalur yang menghubungkan Sulawesi Selatan dengan Nusa Tenggara Timur belum dirampungkan, sedangkan kebutuhan telekomunikasi masyarakat di daerah tersebut hingga beberapa tahun ke depan tidak dapat dipenuhi oleh jaringan yang sudah ada pada saat ini.

Pada makalah ini dilakukan perancangan jaringan *backbone* optik untuk kawasan Makassar-Maumere sebagai bagian dari *ring* 11 proyek Palapa Ring ini. Rancangan akan melewati tiga kawasan yakni Makassar, Baubau, dan Maumere serta melewati laut Flores. Perancangan ini diawali dengan melakukan peramalan kebutuhan *bandwidth* di seluruh lokasi cakupan *ring* 11, kemudian dilakukan perancangan sesuai dengan perangkat yang digunakan, dan pada akhirnya dilakukan analisis kelayakan sistem menggunakan parameter *power link budget*, *rise-time-budget* dan *bit error rate* (BER). Tujuan perancangan ini adalah untuk mendapat rancangan sistem komunikasi serat optik jaringan *backbone* kawasan *ring* 11 dengan menggunakan teknologi DWDM yang mampu membawa beban trafik hingga tahun 2039 sehingga dapat memberikan layanan terbaik di bidang komunikasi untuk masyarakat kawasan Indonesia Tengah khususnya Makassar, Baubau dan Maumere.

II. KONSEP DASAR FIBER OPTIK DAN DWDM

Sistem komunikasi serat optik merupakan bagian dari sistem komunikasi digital. Seperti pada teknologi lainnya, sistem komunikasi serat optik terdiri atas tiga komponen dasar yakni *transmitter*, kabel, dan *receiver*. Kemudian terdapat pula elemen tambahan seperti sambungan kabel, *repeater*, pembagi cahaya, serta penguat optik. Terdapat beberapa jenis *multiplexing* yang digunakan pada transmisi serat optik, salah satunya adalah *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH) [7]. Ada beberapa keuntungan SDH dibandingkan PDH (teknik *multiplexing* sebelum SDH) dilihat dari segi *data rates*, *direct drop/insert of tributaries*, proteksi *switching/self-healing* otomatis. Dengan menggunakan SDH ini, 1 STM-n mampu dibawa oleh satu serat fiber saja [6]. Hal ini tentu sangat menguntungkan baik di sisi biaya maupun penghematan jumlah perangkat dan media transmisi.

A. Dense Wavelength Division Multiplexing

Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) merupakan suatu bentuk teknologi *multiplexing* dalam sistem transmisi jaringan optik yang umumnya digunakan untuk transmisi dengan jarak yang jauh antara satu titik terminasi (terminal) dengan titik terminasi lainnya [2]. Jarak tersebut bervariasi antara ratusan hingga ribuan kilometer jauhnya.

Pada teknologi sebelumnya, *bandwidth* dari satu serat fiber mampu mencaai 39,813 Mbps (1 kanal /1 panjang gelombang). Kemajuan dalam teknologi laser [14] dan perangkat optoelektronik telah memungkinkan untuk mengirimkan lebih dari satu panjang gelombang dalam serat yang sama. Dengan menggunakan teknologi DWDM sebuah serat optik mampu membawa sinyal optik pada panjang gelombang yang berbeda-beda [9]. Selain itu, DWDM memberikan solusi dari meningkatnya biaya untuk kapasitas yang tinggi serta untuk *switching* dan *routing* pada sistem komunikasi optik [11]. Komponen DWDM antara lain adalah [9]:

1) *Wavelength Multiplexer/demultiplexer*: berfungsi untuk memultiplikasi kanal-kanal panjang gelombang optik yang akan ditransmisikan. Sedangkan *demultiplexer* berfungsi sebaliknya.

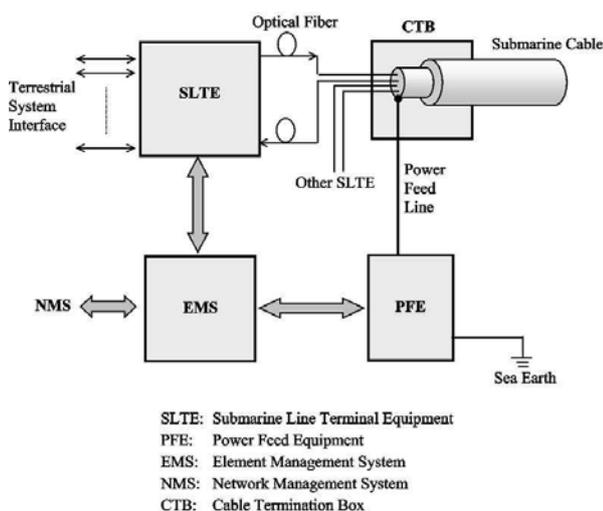
2) *Optikal add/drop Multiplexer (OADM)*: berfungsi untuk melepas atau menambahkan jumlah λ yang akan dilewatkan pada serat optik.

3) *Optical Cross Connect (OXC)*: berfungsi untuk melakukan proses *switching* tanpa melakukan proses konversi OEO.

4) *Optical Amplifier (OA)*: berfungsi untuk meningkatkan *gain* sehingga dapat mentransmisikan data pada jarak yang jauh tanpa melakukan perubahan sinyal cahaya menjadi sinyal elektrik terlebih dahulu.

B. Sistem Komunikasi Kabel Laut

Sistem Komunikasi Kabel Laut (SKKL) merupakan sistem komunikasi yang menggunakan media transmisi berupa kabel laut yang penempatannya dapat ditanam atau digelar di dasar laut untuk menghubungkan komunikasi antar pulau yang berada di dalam satu kawasan negara maupun antar negara. Media transmisi yang dipergunakan mempunyai persyaratan-persyaratan tertentu, terutama mengenai perlindungan terhadap tegangan tarik dan gangguan luar. Perangkat Terminal SKKL antara lain [4]:



Gbr. 1 Konfigurasi dasar perangkat Terminal SKKL[4].

1) *Submarine Line Terminal Equipment (SLTE)*: SLTE merupakan suatu perangkat yang terdiri atas beberapa rak dan menyediakan arsitektur standar untuk sistem pendingin, *plug-in units*, serta kabel yang terinstalasi. SLTE harus memenuhi *Electromagnetic Compatibility (EMC)* sebagai persyaratan dari standar IEC, dikarenakan seluruh operasi dan kontrol dilakukan pada bagian ini.

2) *Cable Terminating Box (CTB)*: CTB berfungsi untuk memfasilitasi hubungan antara serat optik kabel bawah laut dan optik kabel *patch* ke stasiun *Optical Distribution Frame (ODF)*, serta menyediakan *interface* untuk mengambil alih perintah ke pusat *power DC* konduktor kabel bawah laut.

3) *Power Feeding Equipment (PFE)*: PFE memberikan catuan DC yang stabil kepada perangkat. *Repeater*, *equalizer* dan *branching unit (BU)* didukung pencatumannya secara seri oleh PFE yang terletak di stasiun terminal. PFE dapat menyediakan hingga 12.500 Volt pada arus hingga 1,6 Ampere, cukup untuk daya kabel melintasi Samudra Pasifik dari stasiun tunggal.

4) *System Supervisory Equipment (SSE)*: SSE adalah stasiun terminal yang digunakan untuk memonitor, memelihara sistem, menyalurkan informasi dan memberikan daya yang diperlukan. SSE terdiri atas *Element Management System (EMS)* dan *Network Management System (NMS)*.

Selain perangkat terminal SKKL terdapat pula perangkat bawah laut yang terdiri atas [4]:

1) *Kabel*: Dua fungsi utamanya yaitu serat optik sebagai media transmisi dan kawat tembaga sebagai penghantar catu daya dari PFE ke *repeater* dan BU. Kabel merupakan bagian terpenting pada SKKL. Pemilihan kabel laut harus diperhatikan guna memberikan sistem proteksi fisik yang tepat berdasarkan kedalaman laut yang akan dilewati. Terdapat beberapa jenis kabel laut yang digunakan sesuai dengan fungsi perlindungannya yaitu *light weight cable* (kabel tanpa pelindung), *light weight armored cable*, *single armored cable* (kabel pelindung tunggal), *double armored* (kabel pelindung ganda), dan *double rock armored* (kabel laut pelindung ganda terhadap batuan) [12].

2) *Repeater*: *Repeater* berfungsi untuk memperkuat sinyal. Pada SKKL, tidak semua rancangan membutuhkan *repeater*. Beberapa jaringan membutuhkan *repeater* sehingga disebut jaringan *repeatered* dan terdapat pula jaringan yang tidak membutuhkan *repeater* atau disebut jaringan *repeaterless* [15].

3) *Branching Unit (BU)*: BU digunakan pada SKKL yang memiliki lebih dari dua *landing station*, sebagai tempat membelokkan jalur optik, tempat membelokkan *wavelength/lambda*, dan merekonfigurasi sistem daya.

III. KONSEP DAN HASIL PERAMALAN

A. Konsep Peramalan

Pada makalah ini, peramalan yang dilakukan menggunakan model analisis *trend*. Model ini merupakan bagian dari model *time series analysis trend* [8], yang merupakan pergerakan jangka panjang dalam suatu kurun waktu yang dapat digambarkan dengan garis lurus ataupun suatu kurva. Ada

beberapa jenis model *trend* yang dapat digunakan, antara lain adalah [17]:

1) *Trend linier*: *Trend* ini merupakan *trend* dengan data yang ada memiliki gambar atau pola yang mendekati garis lurus apabila di-plot secara visual. Persamaan *trend* linier ini ditunjukkan oleh (1) [17]:

$$Y_t = a + bt, \tag{1}$$

dengan nilai a dan b diperoleh dari:

$$a = \frac{\sum Y}{n} \tag{2}$$

$$b = \frac{\sum tY}{t^2} \tag{3}$$

2) *Trend kuadratik*: *Trend* ini merupakan *trend* dengan data yang ada memiliki pola membentuk parabola apabila di-plot secara visual. Persamaan *trend* kuadratik ini adalah [17]:

$$Y_t = a + bt + ct^2, \tag{4}$$

dengan nilai a, b, dan c diperoleh dari:

$$a = \frac{\sum Y - c \sum t^2}{n} \tag{5}$$

$$b = \frac{\sum tY}{\sum t^2} \tag{6}$$

$$c = \frac{n \sum t^2 Y - \sum t^2 \sum Y}{n \sum t^4 - (\sum t^2)^2} \tag{7}$$

3) *Trend eksponensial*: Biasanya *Trend* ini akan baik digunakan untuk peramalan pada data yang mengalami kenaikan atau penurunan yang cepat. Dalam *trend* ini digunakan persamaan [17]:

$$Y_t = ab^t, \tag{8}$$

dengan nilai a dan b diperoleh dari:

$$a = \text{antilog} \left[\frac{\sum t \log Y}{n} \right] \tag{9}$$

$$b = \text{antilog} \left[\frac{\sum t \log Y}{\sum t^2} \right] \tag{10}$$

Untuk membuat keputusan dalam menentukan *trend* yang paling tepat digunakan, ada beberapa cara untuk melakukan pengujian untuk melihat *trend* yang memiliki nilai kesalahan yang paling kecil, yaitu *Mean Absolute Deviation* (MAD), *Mean Square Error* (MSE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dan *Mean Percentage Error* (MPE).

Untuk mencari nilai MAD, MSE, MAPE, dan MPE masing-masing *trend* digunakan rumus [17]:

$$MAD = \frac{\sum |e|}{n} \tag{11}$$

$$MSE = \frac{\sum e^2}{n} \tag{12}$$

$$MAPE = \frac{\sum \frac{e}{Y}}{n} \tag{13}$$

$$MPE = \frac{\sum \frac{|e|}{Y}}{n}, \tag{14}$$

dengan nilai e merupakan selisih antara nilai data awal (Y) dengan nilai yang sudah diramalkan (Yt) dan n adalah banyaknya data.

B. Hasil Peramalan

Berdasarkan data yang didapatkan dari PT. Telkom dan BPS [1][13], dapat dilakukan peramalan pelanggan telepon kabel dan *broadband* pada daerah yang termasuk dalam cakupan *ring* 11. Hasil perhitungan MAD, MSE, MAPE, dan MPE dapat dilihat pada Tabel I.

TABEL I
PERBANDINGAN PARAMETER KESALAHAN PERAMALAN LAYANAN VOICE

No.	Parameter kesalahan	Linier	Kuadratik	Eksponensial
1	MAD	49,828	53,100	53,443
2	MSE	3,8 juta	3,9 juta	5,3 juta
3	MAPE	2.42 %	2.60 %	2.57 %
4	MPE	-0.78 %	-0.76 %	-0.78 %

TABEL II
PERBANDINGAN PARAMETER KESALAHAN PERAMALAN LAYANAN BROADBAND

No.	Parameter kesalahan	Linier	Kuadratik	Eksponensial
1	MAD	26,595	29,936	187,416
2	MSE	1,1 juta	1,9 juta	39,4 juta
3	MAPE	14.673%	18.995 %	94.509 %
4	MPE	-9.854%	-3.454%	-46.549 %

Berdasarkan nilai perbandingan parameter kesalahan pada Tabel I dan Tabel II, terlihat bahwa nilai terbaik untuk peramalan pelanggan telepon rumah dihasilkan dari perhitungan matematis menggunakan model linier. Sedangkan nilai terbaik untuk peramalan pelanggan internet (Speedy) dihasilkan juga dari perhitungan matematis model linier. Persamaan matematis dari model yang memiliki nilai parameter kesalahan terbaik akan digunakan untuk menentukan nilai jumlah pelanggan telepon rumah maupun jumlah pelanggan internet (Speedy) untuk 25 tahun yang akan datang. Jumlah pelanggan pada tahun 2039 dengan menggunakan persamaan matematis model linier ditampilkan pada Tabel III.

TABEL III
JUMLAH PELANNGAN PER 5 TAHUN MULAI 2019 HINGGA 2039

Jenis Layanan	Jumlah Pelanggan (juta)				
	2019	2024	2029	2034	2039
Voice	2,266	2,345	2,424	2,503	2,582
Broadband	1,243	1,700	2,156	2,613	3,070

Peningkatan jumlah pelanggan telepon tetap kabel sejalan dengan peningkatan pelanggan Speedy. Hal ini dikarenakan kebutuhan akan jaringan telepon dalam penggunaan layanan internet (Speedy) yang memakai fungsi ADSL. Peningkatan jumlah pelanggan ini juga didukung oleh beberapa data penunjang yang mampu menggambarkan peningkatan kebutuhan masyarakat setempat di bidang telekomunikasi.

Untuk menentukan kebutuhan *bandwidth* layanan internet di *ring* 11, dibutuhkan data jumlah pelanggan masing-masing paket Speedy yang ditawarkan. Data terkait jumlah pelanggan

masing-masing paket Speedy ini diambil dari perencanaan jaringan FTTH yang pernah dilakukan sebelumnya, kemudian disesuaikan dengan peramalan yang dilakukan pada makalah ini. Jumlah kebutuhan trafik internet ditunjukkan pada Tabel IV.

TABEL IV
PERAMALAN KEBUTUHAN BANDWIDTH BROADBAND (INTERNET)

Layanan	Paket Speedy	Jumlah pelanggan	Pemakaian	Total (Gbps)
Speedy	384	847,665	0.21	68,356
	512	814,531	0.21	87,578
	1024	1,341,906	0.21	288,563
	2048	66,267	0.21	28,500
Total				472,998

Untuk mengetahui kebutuhan bandwidth layanan telepon tetap kabel, maka digunakan perhitungan Erlang B. Perhitungan kebutuhan untuk layanan telepon tetap kabel ditunjukkan pada Tabel V.

TABEL V
PERAMALAN KEBUTUHAN BANDWIDTH VOICE (TELEPON TETAP)

Parameter	Nilai	Satuan
Jumlah Pelanggan	2,582,904	Pelanggan
Lama bicara	3	Menit
Waktu pengamatan	60	Menit
Intensitas Trafik	129,145.198	Erlang
Probabilitas blocking	0.1	%
Kebutuhan kanal (Erlang B)	136,085	Kanal
Kapasitas satu kanal	64	Kbps
Total Bandwidth	8.70944	Gbps

Berdasarkan data pada Tabel V dapat dihitung total trafik yang harus mampu dibawa pada link Makassar-Maumere hingga tahun 2039.

$$\text{Trafik internet} + \text{Trafik telepon tetap kabel} = 472,998 + 8,7094 = 481,707 \text{ Gbps}$$

Dengan teknologi DWDM, kebutuhan trafik sebesar 481,707 Gbps dapat dibawa dengan jumlah serat fiber yang lebih sedikit. Kanal pada sistem DWDM dikenal dengan sebutan λ . Kapasitas 1 λ yang dipakai pada perancangan link Makassar-Maumere adalah yang memiliki kapasitas maksimum 10 Gbps, sehingga untuk membawa trafik hasil peramalan dibutuhkan 49 kanal (λ). Oleh karena itu, untuk perancangan link Makassar-Maumere dibutuhkan satu pasang serat optik untuk kirim dan terima dengan masing-masing seratnya mampu membawa trafik sebesar 481.707 Gbps (49 λ).

IV. HASIL RANCANGAN

A. Rute SKKL

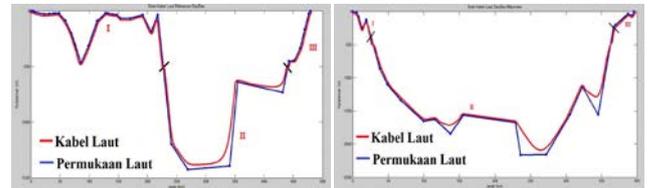
Gbr. 2 menampilkan rute kabel dengan sumbu horizontal merupakan jarak antar Beach Manhole (BMH) dalam satuan kilometer dan sumbu vertikal merupakan kedalaman laut dalam satuan meter. Kabel yang dibutuhkan untuk link Makassar-Baubau adalah [12]:

- I : Double Armored Cable → 221,5 km
- II : Single Armored Cable → 200,5 km

- III : Double Armored Cable → 54,5 km

Panjang total kabel laut yang dibutuhkan dari BMH Makassar (Kaluku Bodoa) hingga BMH Baubau adalah sepanjang 476,5 km dan diakumulasikan dengan toleransi/cadangan 10% menjadi 524,15 km. Sedangkan untuk link Baubau-Maumere adalah:

- I : Double Armored Cable → 30,5 km
- II : Single Armored Cable → 295 km
- III : Double Armored Cable → 41 km



Gbr. 2 Rute SKKL Makassar-Baubau dan Baubau-Maumere.

Panjang total kabel laut yang dibutuhkan dari BMH Baubau hingga BMH Maumere adalah sepanjang 366,5 km diakumulasikan dengan toleransi/cadangan 10% menjadi 403,15 km.

Selain itu terdapat kebutuhan kabel darat yang diperuntukkan untuk menghubungkan BMH dengan Central Office (CO) terdekat di masing-masing daerah. Hal ini dikarenakan kabel laut memiliki titik terminasi akhir di lokasi BMH dan dikarenakan kondisi daerah (antara perairan dan darat) yang berbeda sehingga jenis kabel yang dipakai pun harus memiliki jenis perlindungan yang berbeda sesuai dengan kebutuhannya. Panjang kabel darat yang dibutuhkan untuk masing-masing wilayah dengan toleransi atau cadangan 10 % adalah sebagai berikut.

- BMH – STO Makassar : 3,12 km + 0,312 km = 3,432 km
- BMH – STO Baubau : 3,02 km + 0,302 km = 3,322 km
- BMH – STO Maumere : 3,53 km + 0,353 km = 3,883 km

B. Spesifikasi Perangkat

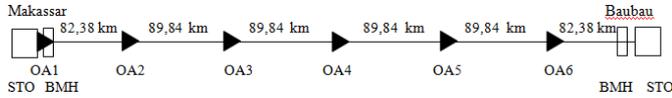
Spesifikasi perangkat yang digunakan pada perancangan sistem komunikasi optik ini adalah sebagai berikut.

- Laju Bit (Gbps) : 10
- Format Modulasi : NRZ
- Margin System [3] : 6
- Attenuation (dB/km) serat : 0.21
- Dispersi kromatik (ps/nm.km) : 4
- Redaman splice (dB/splice) : 0.04
- Effective area (μm^2) : 50
- Rise time (ps) pengirim : 35
- Lebar spektral (nm) pengeirim : 0.02
- Daya transmit (dBm) pengirim : 3
- Rise time (ps) penerima [16] : 15
- Sensitivitas penerima (dBm) : -21
- Redaman konektor (dB/konektor) : 0.2
- Gain EDFA (dB) booster : 9
- Min. Input (dBm) booster : -10
- Max. Output (dBm) booster : 13
- Gain EDFA (dB) in line : 20

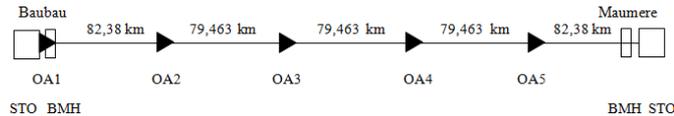
- *Min. Input (dBm) in line* : -20
- *Max. Output (dBm) in line* : 13

C. Hasil Perancangan

Perancangan yang dilakukan menggunakan perhitungan [5] dari spesifikasi perangkat yang telah disebutkan mendapatkan hasil sebagai berikut.



Gbr. 3 Penempatan optical amplifier Makassar-Baubau.



Gbr. 4 Penempatan optical amplifier Baubau-Maumere.

Dari hasil perancangan tersebut, diketahui untuk link Makassar-Baubau dibutuhkan enam EDFA yaitu satu booster dan lima in-line amplifier dan untuk link Baubau-Maumere membutuhkan lima EDFA yaitu satu booster dan empat in-line amplifier.

V. ANALISIS DAN SIMULASI RANCANGAN

A. Analisis Link Power Budget

Link Power Budget (LPB) digunakan dengan tujuan untuk menghitung anggaran daya yang diperlukan agar level daya yang diterima tidak kurang dari level daya minimum sehingga dapat dideteksi di penerima (photodetector) [10]. Selama proses penransmisian, daya akan melemah sesuai dengan nilai redaman yang dimiliki masing-masing komponen. Untuk itu dilakukan perhitungan redaman sebelum melakukan perhitungan link power budget. Berikut hasil perhitungan LPB berdasarkan rumus berikut [10],

$$P_{Tx} - P_{Rx} = M_s + \alpha_{total} \tag{15}$$

$$\alpha_{total} = n_c \alpha_c + n_s \alpha_s + L_{sist} \alpha_f \tag{16}$$

$$\alpha_{total} = n_c \alpha_c + \left[\frac{L_{sist}}{L_{kabel}} - 1 \right] \alpha_s + L_{sist} \alpha_f \tag{17}$$

Tabel VI menampilkan besar total redaman serta daya terima di masing-masing segmen untuk setiap link Makassar-Baubau dan sebaliknya. Hasil daya yang sampai di STO untuk link Makassar-Baubau bernilai -15,3064 dBm. Nilai ini masih di atas nilai sensitivitas penerima yang digunakan, yaitu sebesar -21 dBm. Nilai daya di setiap segmennya pun masih mampu diterima oleh perangkat penguat in-line amplifier yakni -7 hingga -20 dBm.

Hasil daya yang sampai di STO untuk link Baubau-Maumere bernilai -8,21278 dBm. Nilai ini pun masih di atas nilai sensitivitas penerima yang ada serta nilai daya di setiap segmennya berada di antara nilai daya yang mampu diterima oleh perangkat penguat in-line amplifier yakni -7 hingga -20 dBm. Hal ini menunjukkan bahwa kedua link tersebut memiliki konfigurasi yang layak untuk digunakan.

B. Analisis Rise Time Budget

Perhitungan rise time budget diperlukan untuk menentukan batasan dispersi suatu link serat optik, karena bila dispersi di luar standar yang telah ditentukan maka sinyal informasi yang dikirim akan terganggu. Tujuannya untuk menganalisis apakah kinerja sistem secara keseluruhan adalah baik. Rise time budget system ditunjukkan dengan (18) [10]:

$$t_{sist}^2 = t_{tx}^2 + t_{intra}^2 + t_{inter}^2 + t_{rx}^2 \tag{18}$$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, telah didapat rise-time total (t_{sys}) sebesar 56,6417 ps untuk link Makassar-Baubau dan 49,9018 ps untuk link Baubau-Maumere, dengan serat nilai equivalent rise-time sebesar 70 ps. Dengan nilai tersebut, telah terpenuhi syarat pada pengkodean Non Return to Zero (NRZ), karena nilai equivalent rise-time lebih besar daripada nilai rise-time total. Atau dengan kata lain, nilai rise-time total masih di bawah nilai maksimum yang diperbolehkan, yaitu 70% dari periode bit pada pengkodean NRZ.

TABEL VI
LINK POWER BUDGET MAKASSAR-BAUBAU

Segmen	P(t)	M	α total	Gain	P (Rc)
STO-OA1	3	0	0,40	0	2,6
OA1-OA2	2,6	6	19,92	9	-14,3236
OA2-OA3	-14,3236	0	20,24	20	-14,5684
OA3-OA4	-14,5684	0	20,28	20	-14,8532
OA4-OA5	-14,8532	0	20,24	20	-15,098
OA5-OA6	-15,098	0	20,24	20	-15,3428
OA6-STO	-15,3428	0	19,96	20	-15,3064

TABEL VII
LINK POWER BUDGET BAUBAU-MAUMERE

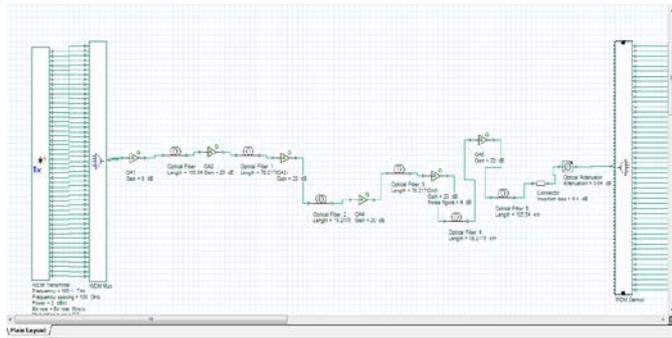
Segmen	P(t)	M	α total	Gain	P (Rc)
STO-OA1	3	0	0,40	0	2,6
OA1-OA2	2,6	6	19,92	9	-14,3236
OA2-OA3	-14,3236	0	17,96	20	-12,2855
OA3-OA4	-12,2855	0	18,00	20	-10,2873
OA4-OA5	-10,2873	0	17,96	20	-8,24918
OA5-STO	-8,24918	0	19,96	20	-8,21278

C. Simulasi Bit Error Rate (BER)

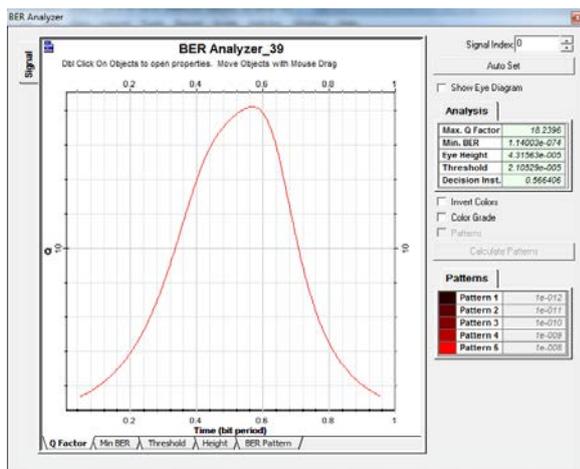
Untuk melengkapi perancangan backbone optik menggunakan teknologi DWDM di Makassar hingga Maumere diperlukan simulasi perancangan yakni menggunakan aplikasi OptiSystem. Aplikasi ini memudahkan simulasi untuk perhitungan BER. Tujuan penggunaan simulasi OptiSystem adalah untuk melihat seberapa besar nilai BER yang dihasilkan dari rancangan tersebut.

Simulasi dilakukan dengan menggunakan tiga serat fiber dengan masing-masing serat membawa 15, 16 dan 18 kanal

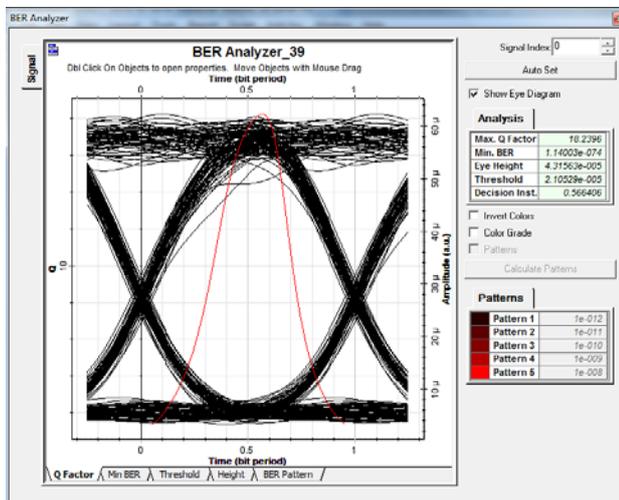
(λ) sehingga total kanal yang melewati Makassar-Maumere sebanyak 49 kanal.



Gbr. 5 Rancangan *link* Makassar-Baubau pada OptiSystem.



Gbr. 6 Contoh hasil BER pada salah satu nilai λ .



Gbr. 7 Tampilan *eye diagram* pada salah satu nilai λ .

VI. KESIMPULAN

Pada makalah ini, perancangan jaringan *backbone* optik *link* Makassar-Maumere dengan menggunakan teknologi DWDM telah dilakukan dan disimulasikan pada *software* OptiSystem. Analisis *link power budget* yang dilakukan menunjukkan

bahwa daya yang sampai di penerima mampu diterima oleh *photodetector* yang memiliki sensitivitas sebesar -21 dBm, sedangkan analisis *rise-time budget* menghasilkan nilai *rise-time* sistem dibawah nilai *rise-time* pengkodean NRZ.

Berdasarkan hasil simulasi pada OptiSystem, nilai BER yang diperoleh menunjukkan hasil yang baik dengan nilai BER terbesar bernilai $5,892 \times 10^{-11}$, terletak pada serat pertama *link* Baubau-Maumere dan nilai tersebut masih lebih kecil dibandingkan standar BER ideal sebesar 10^{-9} . Dari ketiga analisis tersebut maka hasil rancangan yang diperoleh layak untuk dibangun dan diimplementasikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan makalah ini, khususnya kepada Bpk. Azhar Rafi selaku senior manager divisi *broadband* PT. Telkom yang telah memberikan data dan pengarahan bagi selesainya penulisan makalah ini.

REFERENSI

- [1] Adawiyah, A. D., Susyanti, S., & Wulandari, V. C. (2013). *Statistik Telekomunikasi Indonesia 2012*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- [2] Agrawal, G. P. (2002). *Fiber-Optic Communication System*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Bass, M. (2002). *Fiber Optics Handbook*. Orlando, Florida: McGraw-Hill Companies.
- [4] Chesnoy, J. (2002). *Undersea Fiber Communication Systems*. USA: Academic Press.
- [5] Downing, J. N. (2005). *Fiber-Optic Communications*. Clifton Park, New York: Thomson Delmar Learning.
- [6] Indonesia, P. (2004). *Dasar Sistem Komunikasi Optik*. Bandung: TelkomRIS TI (R&D Center).
- [7] Jain, R. K. (2013). *Principles of Synchronous Digital Hierarchy*. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis Group.
- [8] Juanda, B., & Junaidi. (2012). *Ekonometrika Deret Waktu : Teori dan Aplikasi*. Bogor: IPB Press.
- [9] Kartalopoulos, S. V. (2000). *Introduction to DWDM Technology*. Canada: Lucent Technologies, Inc.
- [10] Keiser, G. (1991). *Optical Fiber Communications*. Singapore: McGraw-Hill, Inc.
- [11] Laude, J.-P. (2002). *DWDM Fundamentals, Components, and Applications*. London: Artech House, Inc.
- [12] Markow, A. (2014). Summary of Undersea Fiber Optic Network Technology and Systems. New Jersey: Terremark Worldwide, Inc.
- [13] Mustari, A. S., Untari, R., & Pangaribuan, A. A. (2012). *Statistik Telekomunikasi Indonesia 2011*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- [14] Sackinger, E. (2005). *Broadband Circuits for Optical Fiber Communication*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- [15] Schwartz, J. (2012). Extending the Lifespan and Capacity of Submarine Systems by Wet Plant Modification. Miami: Submarine Cable Forum.
- [16] Senior, J. M. (2009). *Optical Fiber Communications Principles and Practice*. Prentice Hall Europe.
- [17] Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.