

PERENCANAAN PENGGUNAAN PERANGKAT PEMBAGI UNTUK KOMUNIKASI KABEL LAUT DI JALUR INDONESIA GLOBAL GATEWAY (IGG)

PLANNING OF BRANCHING UNIT APPLICATION FOR SUBMARINE CABLE COMMUNICATION IN INDONESIA GLOBAL GATEWAY (IGG) LINK

Muhammad Rayhan Hasibuan¹, Ir.Akhmad Hambali, M.T.², Mochammad Hasan Jauhari³

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

^{1,2} Jln. Telekomunikasi No.1 Terusan Buah Batu Bandung 40257 Indonesia

³ Telkom Indonesia.

¹m.rayhanhasibuan@gmail.com, ²bphambali@gmail.com, ³mhasanjauhari@gmail.com

ABSTRAK

Sistem komunikasi bawah laut (SKKL) merupakan salah satu sistem komunikasi yang digunakan untuk menghubungkan jaringan telekomunikasi antar negara dan pulau. Mengetahui banyaknya pulau yang harus terhubung jaringan telekomunikasi, maka diperlukan perangkat penunjang seperti *Branching Unit* (BU) agar dapat memenuhi kebutuhan kapasitas pelanggan di setiap *landing point*.

Penelitian ini akan menganalisa konfigurasi perencanaan pada SKKL yang terdapat di Indonesia Global Gateway (IGG) yang memiliki jumlah panjang gelombang sebanyak 80 *wavelength*. Skema pembagian jaringan kabel laut pada penelitian ini menggunakan 2 konfigurasi, yaitu konfigurasi *branching* dengan OADM BU, *booster*, *in-line amplifier*, dan *pre-amplifier*, serta konfigurasi *festoon* tanpa menggunakan BU dan hanya menggunakan *booster* dan *pre-amplifier*. Dari hasil simulasi akan dilakukan analisis terhadap *power receive*, *bit error rate* (BER), dan *Q-Factor*.

Berdasarkan hasil simulasi, didapatkan hasil dari konfigurasi *branching* memiliki performansi yang lebih baik dibanding konfigurasi *festoon*. Hal tersebut berdasarkan hasil BER terendah pada konfigurasi *branching* dan nilai *Q-Factor* tertinggi. Selain itu jika dilihat dari *power receive*, konfigurasi *branching* juga memiliki nilai yang tertinggi.

Kata kunci: SKKL, *Branching Unit*, OADM, *Festoon*

ABSTRACT

Submarine cable is an example of communication system that used for connecting telecommunication network between islands and countries . Based on the number of islands that should be connected by telecommunication network, then required supporting devices such as Branching Unit (BU) to meet the needs of customers capacity in each landing point.

The research will analyze the performance of planning configurations in submarine cable system that contained in Indonesia Global Gateway (IGG) that has 80 wavelength. There are 2 configurations in this research, the first is branching configuration that use OADM BU, booster, in-line amplifier, and pre-amplifier, and the second is festoon configuration that only use booster, pre-amplifier for gain, and without BU. The simulation will analyze the power receive bit error rate (BER), and Q-Factor.

Based on the simulation, the result of branching configuration has better performance than festoon configuration. It's based on the lowest BER result of the branching configuration and the highest Q-Factor value. Also based on power receive, branching configuration has the highest value.

Keywords: *Submarine Cable System, Branching Unit, OADM, Festoon*

1. Pendahuluan

Pertukaran informasi menggunakan teknologi memiliki cakupan wilayah yang sangat luas dan proses yang cepat. Bukan hanya menghubungkan antar kota, tetapi juga menghubungkan jaringan antar negara. Dengan berkembangnya teknologi, maka infrastruktur jaringan telekomunikasi terus ditingkatkan. Instalasi jaringan tidak hanya dilakukan di darat, tetapi juga dilakukan di laut, salah satunya sistem komunikasi kabel laut (SKKL). Sistem komunikasi kabel laut merupakan sistem komunikasi yang menggunakan teknologi DWDM yang memiliki jarak sangat jauh. Jaringan pada sistem komunikasi ini juga dapat membawa trafik yang lebih besar dibanding jaringan yang berada di darat.

Salah satu perusahaan yang menjalankan proyek SKKL adalah PT. Telkom Indonesia. Indonesia *Global Gateway* (IGG) merupakan sebuah proyek yang dijalankan oleh PT. Telkom Indonesia dan bekerja sama dengan vendor lainnya. Dengan menggunakan panjang gelombang sebanyak 80 wl, jaringan ini menghubungkan Dumai,

Singapore, Batam, Jakarta, Surabaya, Bali, Makassar, Balikpapan, Tarakan, dan Manado [1]. Adapula perluasan dari jaringan ini disebut Kaltara yang menghubungkan Balikpapan, Sangatta, Makajangm dan Tarakan. Dengan banyaknya pulau dan titik labuh yang akan dihubungkan, maka diperlukan konfigurasi lebih efisien. Karena jika menggunakan *direct link* akan membutuhkan *cost* yang tinggi.

Pada penelitian ini dilakukan perencanaan penggunaan perangkat pembagi untuk komunikasi kabel laut menggunakan konfigurasi *branching* yang memerlukan komponen *optical add/drop multiplexer* (OADM) BU untuk menghubungkan landing point di Balikpapan, Sangatta, Makajang, dan Tarakan. Kemudian membandingkan hasil simulasi dengan konfigurasi *festoon* yang tidak menggunakan BU berdasarkan parameter pengujian *Bit Error Rate* (BER), *Q-Factor*, *Power Receive*, dan *Optical Signaling to Noise Ratio* (OSNR).

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Sistem Komunikasi Kabel Laut (SKKL)

Sistem komunikasi kabel laut (SKKL) merupakan sistem komunikasi yang diinstalasi dibawah laut untuk menghubungkan antar pulau maupun antart negara. Trafik yang dibawah pada sistem komunikasi ini sangat besar serta memiliki jarak yang sangat jauh. Sehingga dibutuhkan teknologi yang dapat memenuhi kriteria sistem tersebut. *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) merupakan teknologi *multiplexing* dalam sistem transmisi jaringan optik yang digunakan untuk transmisi dengan jarak yang relatif jauh antar *landing station* [2]. Penggunaan teknologi DWDM memungkinkan sebuah serat optik untuk membawa sinyal optik dalam panjang gelombang yang berbeda [3]. Selain itu, DWDM dapat memberikan solusi dari peningkatan biaya untuk kapasitas yang besar serta untuk switching dan routing [4]. Sistem ini terdiri dari 2 daerah perangkat berbeda, yaitu *dry plant* dan *wet plant*. *Dry plant* terdiri dari *Submarine Line Terminal Equipment* (SLTE) dan *Power Feed Equipment* (PFE), sedangkan *wet plant* terdiri dari *Submarine Cable*, *Branching Unit*, dan *Repeater*.

2.2 Dry Plant

Pada sistem komunikasi kabel laut terdapat sebuah konfigurasi yang terletak di daratan yang disebut *dry plant*. Pada konfigurasi ini terdapat *Cable Landing Station* (CLS) yang merupakan titik labuh suatu sistem komunikasi kabel laut. CLS memiliki beberapa perangkat lainnya, yaitu *Submarine Line Terminal Equipment* (SLTE) dan *Power Feed Equipment* (PFE).

2.3 Wet Plant

Wetplant merupakan salah satu konfigurasi perangkat pada sistem komunikasi kabel laut. Berbeda dengan *dry plant*, konfigurasi *wet plant* terletak diantara dua atau lebih *landing station*. Perangkat tersebut antara lain *submarine cable*, *branching unit*, dan *amplifier*.

2.3.1 Branching Unit

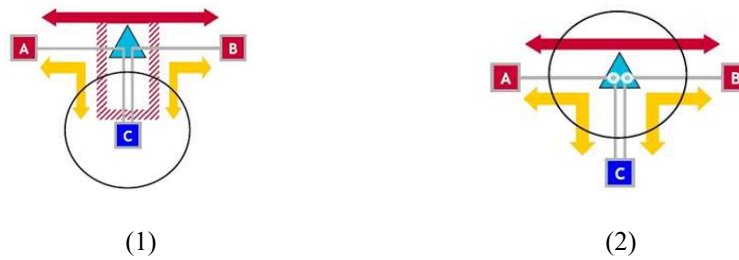
Pada dasarnya sistem komunikasi kabel laut tidak hanya bersifat *point-to-point*, tetapi juga dapat menghubungkan lebih dari dua buah *landing station*. Oleh karena itu dibutuhkan perangkat penunjang yang dapat membagi jaringan kabel laut agar dapat menghubungkan lebih dari dua *landing station*. Perangkat yang bertugas sebagai pembagi jaringan pada sistem komunikasi kabel laut adalah *submarine branching*. Secara garis besar, *submarine branching unit* berfungsi sebagai pembagi jalur optik, panjang gelombang, serta merekonfigurasi daya. Hal ini dilakukan agar dapat menyesuaikan kapasitas transmisi untuk setiap *landing station* [5]. Berdasarkan *fiber connectivity*, BU dibagi menjadi 2 jenis, yaitu :

1. Full Fiber Drop (FFD) BU

Pada jenis BU ini, fungsi add/drop pada wavelength dilakukan seluruhnya sesuai fiber yang dicabangkan. BU hanya melakukan *fiber connectivity*, sedangkan pembagian trafik yang akan di-add/drop dan di-passthrough (memerlukan regenerator transponder) dilakukan di SLTE Branching [6].

2. Optical Add/Drop Multiplexing (OADM) BU

Optical add/drop multiplexing (OADM) BU merupakan *fiber connectivity* yang memanfaatkan pembagian wavelength dalam satu fiber pair. Dalam satu fiber pair tidak semua wavelength di-add/drop tetapi ada juga yang di-passthrough. Berbeda dengan FFD yang dilakukan di SLTE (pembagian trafiknya), pembagian trafik OADM BU dilakukan di bawah laut. OADM merupakan suatu perangkat pada teknologi WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) yang menggabungkan dan merutekan saluran yang berbeda dari/ke serat optik tunggal. Pada teknologi transmisi sistem WDM sebelumnya, jumlah kapasitas transmisi hanya 10 Gbps x 64 gelombang. Tetapi seiring berkembangnya internet, kebutuhan kapasitas meningkat mencapai 10 Gbps x 128 gelombang. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, teknologi OADM dapat membagi ke dalam spektrum panjang gelombang mencapai 128 gelombang dengan menggunakan OADM *branching unit* [7].



Gambar 2.1 Konfigurasi FFD BU (1) dan Konfigurasi OADM BU (2)

2.4 Parameter Performansi

2.4.1 Power Link Budget (PLB)

Power Link Budget (PLB) merupakan nilai total redaman yang diizinkan pada suatu jaringan optik dari transmitter (Tx) sampai receiver (Rx). Nilai tersebut diperoleh dari redaman kabel, penguatan amplifier, serta margin system. PLB digunakan sebagai syarat agar perancangan tidak melebihi ambang batas daya yang yang dibutuhkan [8]. Power Link Budget (PLB) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\alpha_{tot} = L_f \cdot \alpha_f + L_d \cdot \alpha_d + \alpha_{BU1} + \alpha_{BU2} \tag{2.1}$$

Setelah didapat nilai tersebut, kemudian dapat dicari nilai daya yang diterima oleh receiver dengan perhitungan sebagai berikut :

$$P_{Rx} = P_{Tx} - \alpha_{tot} \tag{2.2}$$

- | | | | |
|----------------|--------------------------------------|----------------|---|
| α_{tot} | : Redaman Total Sistem (dB) | α_{BU2} | : Redaman Branching Unit-2 |
| L_f | : Panjang <i>Fiber Optic Link</i> | P_{Rx} | : Daya Terima / Sensitivitas Penerima (dBm) |
| α_f | : Redaman <i>Fiber Optic</i> (dB/km) | P_{Tx} | : Daya Kirim (dBm) |
| α_{BU1} | : Redaman Branching Unit-1 | | |

2.4.2 Signal to Noise Ratio (SNR).

SNR merupakan nilai perbandingan daya sinyal optic yang ditransmisikan terhadap noise pada sistem. Nilai SNR dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$SNR = \frac{(Pr \cdot R \cdot M)^2}{2 \cdot q \cdot Pr \cdot R \cdot M^2 \cdot F(M) \cdot Be + \frac{4 \cdot K_B \cdot T \cdot Be}{R_L}} \tag{2.3}$$

- | | | | |
|--------|--|-------|---|
| Pr | : Daya Jatuh (Watt) | Be | : Receive Electrical Bandwidth (Hz) |
| R | : Responsivitas Detektor (A/W) | K_B | : Konstanta Boltzman ($1.38 \times 10^{-23} J/K$) |
| M | : Penguat Detektor | T | : Suhu (K) |
| q | : Muatan Elektron ($1.69 \times 10^{-19} C$) | R_L | : Hambatan (Ohm) |
| $F(M)$ | : Noise Figure | | |

2.4.3 Q-Factor.

Q-factor merupakan parameter yang menentukan bagus atau tidaknya kualitas sinyal optik dalam suatu jaringan dengan nilai minimum 6. *Q-factor* dapat digunakan untuk mengevaluasi pelemahan propagasi yang disebabkan noise optik, pengaruh polarisasi, serta dispersi. Pelemahan juga dapat terjadi akibat fungsi analogis dari transmitter dan receiver optik [9]. *Q-Factor* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = \frac{10^{\frac{OSNR}{20}}}{2} \tag{2.4}$$

- | | |
|-------|--------------------------------|
| Q | : Faktor Kualitas |
| SNR | : <i>Signal to Noise Ratio</i> |

2.4.4 Bit Error Rate (BER).

Bit error rate merupakan nilai kesalahan pada bit yang terjadi dalam proses pengiriman sinyal digital pada media transmisi. Kebutuhan terhadap BER akan berbeda sesuai pengaplikasiannya, misal pengaplikasian pada sistem komunikasi optik membutuhkan BER sebesar 10^{-9} . Contoh pembacaan nilai BER seperti berikut, misal

BER 10^{-3} , artinya terdapat satu bit yang rusak (*error*) dari 1000 bit yang ditransmisikan. Nilai BER dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$BER = \frac{\exp(-\frac{Q^2}{2})}{Q\sqrt{2\pi}} \tag{2.5}$$

Q : Faktor Kualitas
 BER : Bit Error Rate

2.4.5 Rise-Time Budget

Rise time budget merupakan metode untuk menentukan batasan dispersi suatu *link* serat optik. Metode ini digunakan untuk menganalisa sistem transmisi digital terhadap jaringan secara keseluruhan telah tercapai dan mampu memenuhi kapasitas kanal yang diinginkan. Umumnya degradasi total waktu transisi dari *link* digital tidak melebihi 70 ps pada pengkodean NRZ (Non-return-to-zero). Untuk menghitung *Rise Time budget* dapat menggunakan persamaan :

$$t_{sys} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_{mat}^2 t_{wg}^2} \tag{2.6}$$

t_{sys} : rise-time sistem
 t_{tx} : rise-time transmitter
 t_{rx} : rise-time receiver
 t_{mat} : rise time material
 t_{wg} : rise time waveguid

2.5 Parameter Transmisi

Berdasarkan standar ITU-T.G.654D, parameter yang digunakan pada *submarine cable system* tidak jauh berbeda dengan parameter yang digunakan pada sistem komunikasi serat optik (SKSO) pada umumnya. Kabel yang digunakan pada *submarine cable system* dan SKSO dibedakan oleh lapisan pelindung kabel tersebut. Lapisan pelindung pada *submarine cable* lebih tebal dibandingkan kabel SKSO untuk memberikan ketahanan terhadap kerusakan. Peningkatan ketahanan kabel juga dilakukan untuk meminimalisir kerusakan yang terjadi, karena proses perbaikan kabel yang membutuhkan waktu serta biaya yang dikeluarkan akan lebih besar dibanding memperbaiki kabel SKSO.

Tabel 2 1 Parameter Standar ITU-T.G.654.D.

ATTRIBUTE	DETAIL	VALUE
Attenuation Coefficient	Wavelength	1550 nm
	1.550 nm	0.16 dB/km
	1.625 nm	To be Determined
Typical Chromatic Dispersion Parameters	$D_{1.550}$	16 ps/nm.km
	$S_{1.550}$	0.06 ps/nm.km

Pada sisi blok pengirim (*transmitter*) terdapat parameter yang telah ditentukan sesuai dengan spesifikasi dari kontrak Indonesai *Global Gateway* (IGG).

Tabel 2.2 Parameter Transmitter.

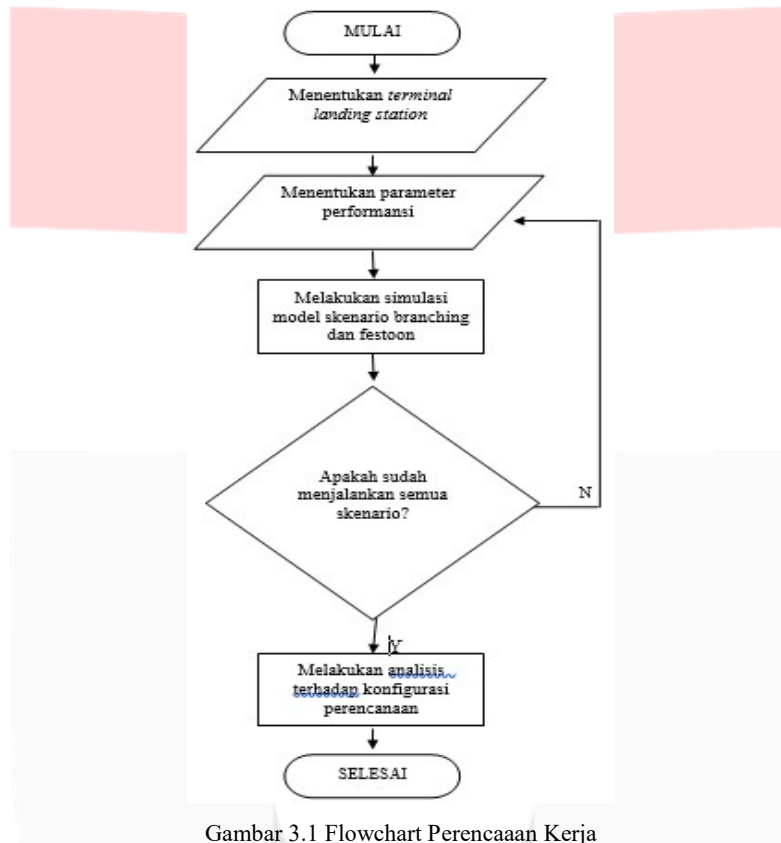
No.	Parameter	Nilai
1	<i>Agregated bitrate</i>	8 Tbps
2	<i>Bitrate per channel</i>	100 Gbps
3	<i>Line code</i>	NRZ
4	<i>Transmisi power output</i>	-40 dBm s.d +5dBm
5	<i>Channel spacing</i>	40 Ghz
6	<i>Number of channel</i>	40 dan 80

Tabel 2.3 Parameter Receiver.

No.	Parameter	Nilai
1	Responsivitas Detektor	1 A/W
2	Penguatan Detektor	3
3	<i>Receiver Electrical Bandwidth</i>	20 GHz
4	Suhu	29 K
5	Hambatan Dalam	50 Ohm

3. Sistem Pemodelan

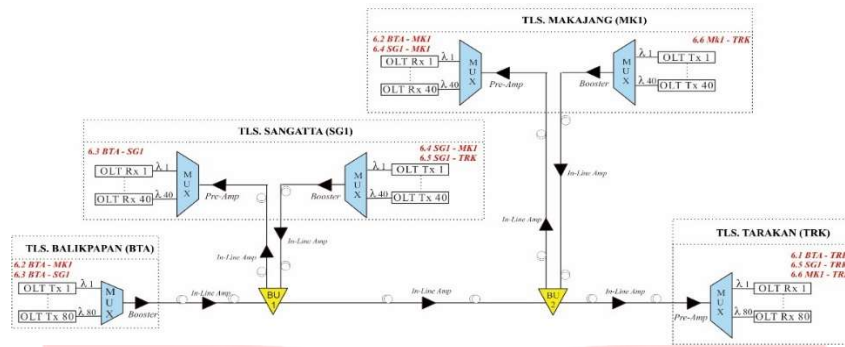
3.1 Flowchart Perencanaan Kerja



Gambar 3.1 Flowchart Perencanaan Kerja

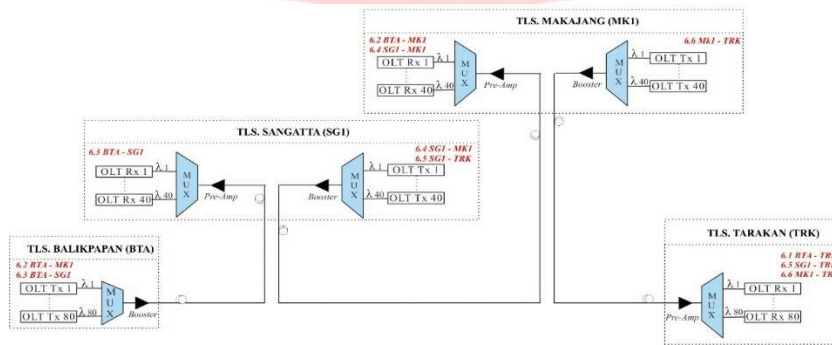
Gambar 3.1 menampilkan tahapan yang dilakukan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Untuk melakukan perencanaan konfigurasi, langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan titik labuh atau *terminal landing station* yang akan digunakan. Hal ini dilakukan agar perencanaan tidak keluar dari batasan masalah yang telah ditentukan. *Terminal landing station* yang digunakan pada perencanaan menggunakan data dari Telkom Indonesia, diantaranya TLS Balikpapan (BTA), TLS Sangatta (SG1), TLS Makajang (MK1), dan TLS Tarakan (TRK). Empat TLS tersebut merupakan perluasan jaringan (*future upgrade*) dari *link* IGG dan disebut *link* Kaltara. Setelah titik labuh ditentukan, langkah selanjutnya adalah menentukan parameter performansi seperti jumlah BU, alokasi panjang gelombang, jumlah perangkat penguat (*amplifier*), serta dispersi. Kemudian dilakukan simulasi berdasarkan parameter yang telah ditentukan menggunakan perangkat lunak. Simulasi pertama dilakukan dengan konfigurasi *branching* menggunakan perangkat OADM BU, *booster*, *in-line amplifier*, dan *pre-amplifier*. Simulasi kedua dilakukan dengan konfigurasi *festoon* tanpa menggunakan *branching unit* dan hanya menggunakan penguat pasif (*pump*) pada sisi pengirim (Tx) dan sisi penerima (Rx). Parameter performansi menyatakan bahwa sistem akan berhasil jika nilai BER maksimum 1×10^{-9} , minimum *Q-Factor* bernilai 6 dan minimum *power receive* sebesar -21 dBm [10]. Setelah hasil didapat, dilakukan analisis terhadap masing-masing konfigurasi yang digunakan dan diambil kesimpulan akhir dari perencanaan yang telah dilakukan.

3.2 Simulasi Model Perencanaan



Gambar 3.2 Simulasi Model Perencanaan Konfigurasi Branching

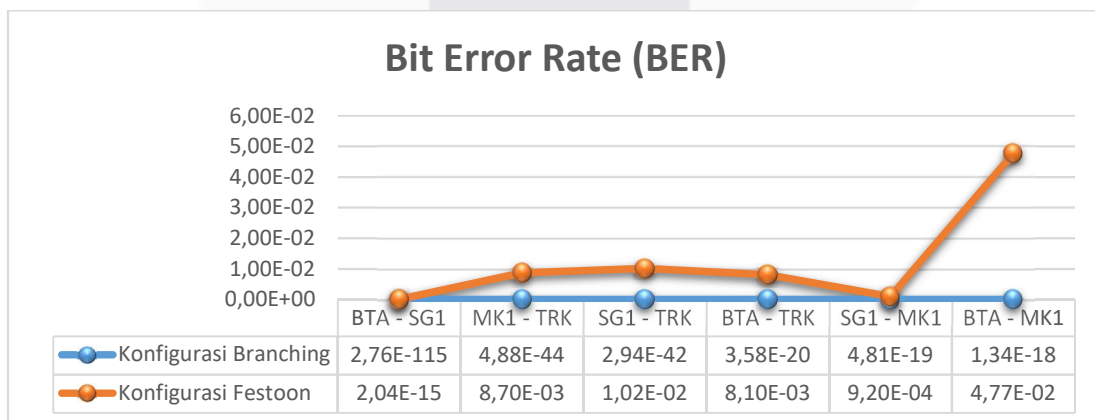
Perencanaan dilakukan menghubungkan *terminal landing station* (TLS) Balikpapan, Sangatta, Mangkajang, serta Tarakan yang disimulasikan menggunakan perangkat lunak dengan jumlah panjang gelombang 80 *wavelength*. Sistem ini menggunakan 2 serat optik yang masing-masing serat digunakan untuk *upstream* dan *downstream*. Penggunaan EDFA yang merupakan komponen penguat (amplifier) aktif pada sistem ini diantaranya digunakan untuk *booster*, *in-line amplifier*, serta *pre-amplifier*.



Gambar 3.3 Simulasi Model Perencanaan Konfigurasi Festoon

Gambar 3.3 merupakan model perencanaan konfigurasi *festoon* yang menghubungkan Balikpapan, Sangatta, Mangkajang, serta Tarakan yang disimulasikan menggunakan perangkat lunak dengan jumlah kanal (*wavelength*) keseluruhan sebanyak 80 dengan total *bitrate* 100 Gbps. Pada sistem ini menggunakan 2 core yang mana 1 core sebagai *downstream* dan 1 core lainnya sebagai *upstream*. Pada sistem ini tidak menggunakan branching unit (BU) karena pembagian *wavelength* dilakukan pada *terminal landing station*. Sistem ini juga menggunakan EDFA sebagai *amplifier* yang berfungsi sebagai *booster*, dan *pre-amplifier*, atau lebih tepatnya menggunakan konfigurasi *repeaterless*.

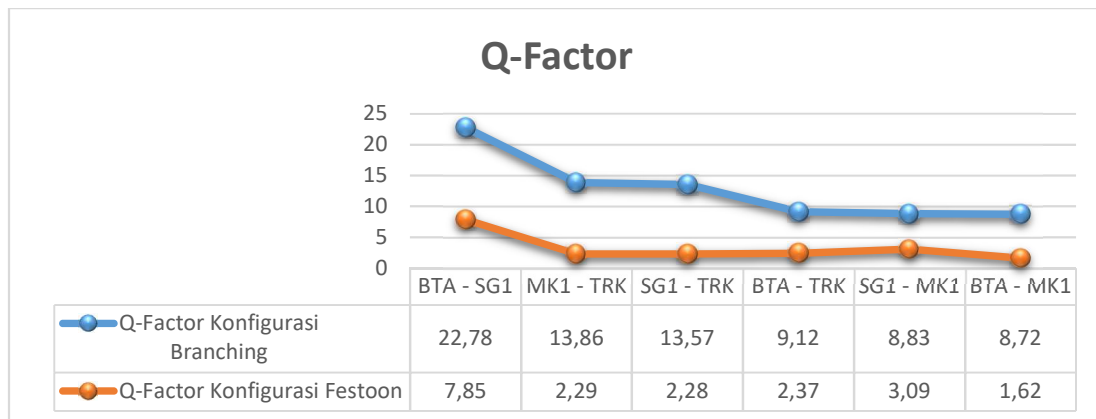
3.3 Analisa Hasil Simulasi



Gambar 3. 4 Grafik Perbandingan Nilai BER Konfigurasi Branching dan Festoon

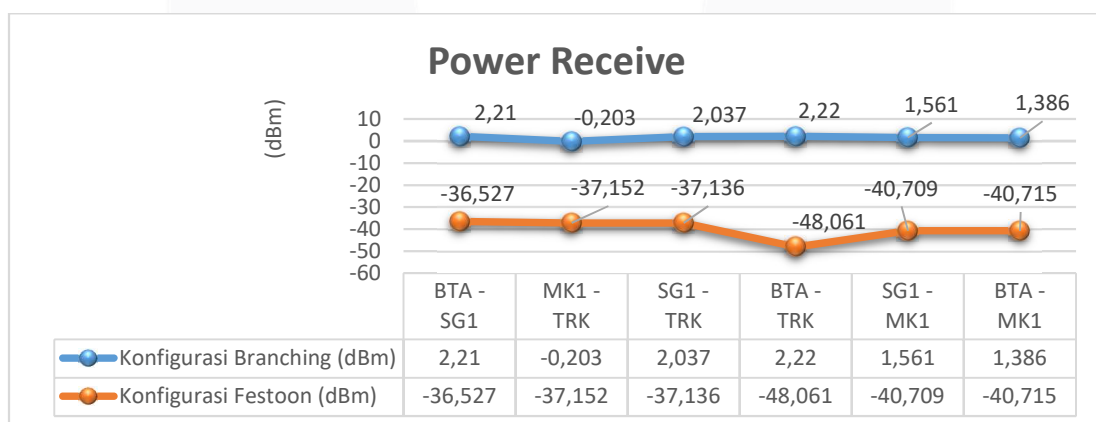
Gambar grafik di atas menunjukkan perbandingan nilai BER dari setiap konfigurasi yang digunakan. Hasil BER terendah untuk konfigurasi *branching* berada pada *link* BTA-SG1 dengan nilai $2,76 \times 10^{-115}$, adapun nilai BER tertinggi untuk konfigurasi *branching*, yaitu pada *link* BTA-MK1 dengan nilai $1,34 \times 10^{-18}$. Sedangkan untuk nilai

BER terendah untuk konfigurasi *festoon* berada pada *link* BTA-SG1 dengan nilai $2,04 \times 10^{-15}$, dan nilai BER tertinggi untuk konfigurasi *festoon* berada pada *link* BTA-MK1 dengan nilai $4,77 \times 10^{-2}$. Berdasarkan nilai maksimal BER yaitu 1×10^{-9} , maka konfigurasi *branching* memiliki nilai yang lebih bagus dibanding konfigurasi *festoon* karena semua *link* memenuhi standar nilai BER, sedangkan pada konfigurasi *festoon* nilai BER yang terpenuhi hanya berada pada *link* BTA-SG1.



Gambar 3.5 Grafik Perbandingan Nilai *Q-Factor* Konfigurasi *Branching* dan *Festoon*

Pada gambar di atas menunjukkan perbandingan nilai *Q-Factor* dari setiap konfigurasi yang digunakan. Hasil *Q-Factor* tertinggi untuk konfigurasi *branching* berada pada *link* BTA-SG1 dengan nilai 22,78, dan untuk nilai terendah berada pada *link* BTA-MK1 dengan nilai 8,72. Sedangkan untuk nilai *Q-Factor* tertinggi untuk konfigurasi *festoon* berada pada *link* BTA-SG1 dengan nilai 7,85, dan nilai terendah berada pada *link* BTA-MK1 dengan nilai 1,62. Berdasarkan nilai minimal *Q-Factor* yaitu bernilai 6, maka konfigurasi *branching* merupakan konfigurasi yang paling bagus karena semua *link* memenuhi standar nilai *Q-Factor*, sedangkan untuk konfigurasi *festoon* yang hanya memenuhi nilai *Q-Factor* pada *link* BTA-SG1.



Gambar 3.6 Grafik Perbandingan Nilai *Power Receive* Konfigurasi *Branching* dan *Festoon*

Pada Gambar 3.6 menunjukkan perbandingan nilai *power receive* dari setiap konfigurasi yang digunakan. Hasil *power receive* tertinggi untuk konfigurasi *branching* berada pada *link* BTA-TRK dengan nilai 2,22 dBm, dan untuk nilai terendah berada pada *link* MK1-TRK dengan nilai -0,203 dBm. Sedangkan untuk nilai *power receive* tertinggi untuk konfigurasi *festoon* berada pada *link* BTA-SG1 dengan nilai -36,527 dBm, dan nilai terendah berada pada *link* BTA-TRK dengan nilai -48,061 dBm. Berdasarkan nilai tersebut, maka konfigurasi yang paling baik adalah konfigurasi *branching* karena memiliki nilai *power receive* diatas batas minimum yaitu -21 dBm.

4. Kesimpulan Dan Saran

4.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis yang telah peneliti lakukan untuk Tugas Akhir ini, maka didapat beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan konfigurasi *branching* dan *festoon*, konfigurasi yang paling baik menggunakan konfigurasi *branching* karena memiliki nilai *Q-Factor* dan *Power Receive* diatas standar minimum, serta nilai BER dibawah standar maksimum.

2. Pada analisa *rise-time budget* menghasilkan nilai *rise-time* sistem dibawah nilai *rise-time* pengkodean NRZ, sehingga sistem dapat menggunakan pengkodean NRZ. Tetapi tidak dapat menggunakan pengkodean RZ.
3. Konfigurasi *festoon* hanya dapat digunakan pada *link* BTA-SG1 yang merupakan jarak terpendek.
4. Jika mengacu pada efisiensi biaya, dapat menggunakan *mixed* konfigurasi antara konfigurasi *festoon* untuk *link* BTA-SG1 dengan konfigurasi *branching* untuk *link* BTA-MK1, BTA-TRK, SG1-MK1, SG1-TRK, dan MK1-TRK.
5. Konfigurasi *branching* dapat menjamin koneksi tetap terhubung jika salah satu *link* mengalami kerusakan.

4.2 Saran

Untuk pengembangan selanjutnya dapat berfokus pada :

1. Hasil dari *Latency* dapat meningkatkan kualitas jaringan.
2. Performansi penggunaan jumlah panjang gelombang kurang 80 wl.
3. Penentuan jarak dapat menghasilkan konfigurasi berbeda.

5. Daftar Pustaka

- [1] M. H. Jauhari, "Proses Konstruksi Pembangunan Sistem Komunikasi Kabel Laut (SKKL)," 2016.
- [2] G. P. Agrawal, *Fiber-Optic Communication System*, New York: John Wiley & Sons, Inc, 2002.
- [3] S. V. Kartalopoulos, *Introduction to DWDM Technology*, Canada: Lucent Technologies, Inc, 2000.
- [4] J. P. Laude, "DWDM Fundamentals, Components, and Applications," dalam *Artech House, Inc*, London, 2002.
- [5] NEC Corporation, "Optical Submarine Cable Network Monitoring," [Online]. Available: <http://www.nec.com/en/global/techrep/journal/g10/n01/pdf/100108.pdf>. [Diakses 28 Februari 2017].
- [6] M. H. Jauhari, "Penggunaan OADM-BU pada Network SKKL".
- [7] NEC Corporation, "Optical Submarine Cable Network Monitoring Equipment," *NEC Technical Journal*, vol. V, p. 33, 2010.
- [8] G. Keiser, *Optical Fiber Communications (Second Edition)*, McGraw-Hill, 1991.
- [9] S.Hendrique, "Photodetector Noise and Receivers," pp. 1-15, 2017.
- [10] Alcatel-Lucent, "1620LM Transoceanic Submarine Line Terminal," 2014.