

PERANCANGAN JARINGAN KOMUNIKASI SISTEM INFORMASI DAN ADMINISTRASI BRIMOB (SIAB) BERBASIS SERAT OPTIK

Ariman 1st, Mochamad Ikilil 2nd

Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jl. Moh. Kahfi II, Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan – 12640
e-mail: ¹ ariman@istn.ac.id, ² mochiklil@hotmail.com

ABSTRAK

Markas Komando Brimob menggunakan serat optik sebagai media transmisi dalam perancangan jaringan komunikasi Sistem Informasi dan Administrasi Brimob (SIAB). Serat optik mempunyai kapasitas transmisi yang besar, oleh karena itu jaringan serat optik diimplementasikan pada jaringan SIAB. Perancangan jalur transmisi ini meliputi penarikan kabel serat optik dari Mako Brimob ke tujuh titik yaitu Pool Mako, Mako Gegana, Pool Bengkel Gegana, Detasemen Gegana, Pool KBR, Pool Pelopor, dan Danpas Pelopor.

Perancangan jaringan SIAB ini disesuaikan dengan kebutuhan Mako Brimob seperti: BER 10^{-10} , kecepatan data 100 Mbps, dan panjang gelombang yang digunakan 1310 nm. Peralatan optik yang dipilih adalah serat optik *single mode* jenis *loosen tube*, detektor cahaya PIN photodiode, sumber optik *laser diode*, dan konektor SC. Dari analisis *power link budget* didapat jarak maksimum tanpa menggunakan penguat optik sejauh 491,9 km, sedangkan dari analisis *rise time budget* didapat kecepatan maksimum sebesar 896 Mbps.

Kata kunci: *Power link budget, Rise time budget*

ABSTRACTS

Markas Komando Brimob uses optical fiber as a transmission media in the design of the Sistem Informasi dan Administrasi Brimob (SIAB) communication network. Optical fiber has a large transmission capacity, therefore fiber optic networks are implemented on network of SIAB. This facility includes withdrawal of fiber optic cable from Mako Brimob to seven points, namely Pool Mako, Mako Gegana, Pool Bengkel Gegana, Detasemen Gegana, Pool KBR, Pool Pelopor, and Danpas Pelopor.

The design of the SIAB network is adjusted to the needs of the Mako Brimob such as: 10^{-10} of BER, 100 Mbps of data speed, and 1310 nm of wavelength. The optical equipment used were single fiber optic tube loosen mode, PIN photodiode light detector, optical laser diode, and SC connector. From the power link analysis, the maximum distance without using an optical amplifier was 491.9 km. Then, the maximum speed was 896 Mbps measured using rise time budget.

Keywords: *Power link budget, Rise time budget*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi saat ini mengalami kemajuan yang sangat cepat. Ini diakibatkan adanya permintaan dan peningkatan kebutuhan akan informasi, yang terus memacu para pengembang untuk memberikan suatu media transmisi yang dapat diandalkan dari segi kualitas sinyal, waktu akses, keamanan data, daerah cakupan penerima yang luas, maupun harga jual yang kompetitif (Hantoro, 2015).

Keterbatasan utama dalam sistem komunikasi adalah kecepatan dan kapasitas transmisi, sehingga menuntut perkembangan yang semakin cepat seiring berkembangnya sektor komunikasi data dan suara. Teknologi serat optik dengan frekuensi 10^{13} Hz dan cahaya sebagai media transmisi menawarkan suatu jawaban dalam membangun suatu sistem transmisi yang berkecepatan tinggi dan memiliki kapasitas yang besar. Saat ini kecepatan transmisi serat optik sudah mencapai 10 Gbps dan *bandwidth* sebesar 19,3 THz untuk panjang-gelombang sebesar 1550 nm (Subhan, 2021).

Markas Komando Brimob merupakan markas utama Pasukan Brimob di Indonesia. Markas Komando Brimob sendiri memanfaatkan serat optik sebagai sarana pengiriman informasi yang menghubungkan antar Satuan Kerja Gedung Pasukan Pelopor dan Pasukan Gegana. Untuk itulah, diperlukan sekali adanya Sistem Informasi yang berbasis serat optik

2. METODE PENELITIAN

2.1. Pemancar Optik

Pemancar optik merupakan sumber cahaya dalam sistem komunikasi serat optik. Pemancar optik digunakan untuk mengkonversi sinyal elektrik menjadi sinyal optik yang akan dilewatkan melalui serat optik. Cahaya yang dibawa dapat diatur kedalam tingkat intensitas yang berbeda-beda, sehingga menjadi lebih mudah untuk diaktifkan dan dinonaktifkan yang disebut dengan modulasi analog. Modulasi yang dapat merubah intensitas cahaya disebut juga dengan *Amplitude Modulation* (AM).

Secara umum sumber cahaya dalam sistem komunikasi serat optik ada dua jenis, yaitu:

1. *Light Emitting Diode (LED)*
 LED yang sering digunakan dalam sistem komunikasi serat optik adalah *solid state semiconductor*.
2. LASER.
 Laser digunakan untuk kecepatan data yang lebih tinggi.
 Tabel 1 berikut memperlihatkan perbandingan karakteristik dari Laser Diode dan LED.

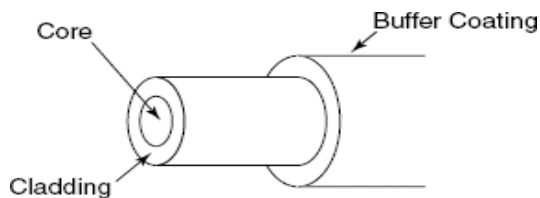
Tabel 1: Perbandingan Laser Diode dan LED

Karakteristik	Laser Diode	Light Emitting Diode
Wavelength	>1300 nm	800-900 nm
Spectral Width	1-2 nm	30-40 nm
Available Output Power	5-15 mW	1-5 mW
Insertion Loss	3 dB	15-20 dB
Modulation Frequency	1000 MHz	10-100 MHz
Life Expectancy	10 ⁴ -10 ⁵ hours	10 ⁵ -10 ⁶ hours

2.2. Serat Optik

Serat optik adalah saluran transmisi yang terbuat dari kaca atau plastik yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat lain. Cahaya yang ada di dalam serat optik sulit keluar karena indeks bias dari kaca lebih besar daripada indeks bias dari udara. Sumber cahaya yang digunakan adalah laser karena laser mempunyai spektrum yang sangat sempit. Kecepatan transmisi serat optik sangat tinggi sehingga sangat bagus digunakan sebagai saluran komunikasi.

Sebuah serat optik terdiri dari tiga bagian, yaitu: inti (*core*), kulit (*cladding*) dan mantel (*buffer*) atau pelindung (Gambar 1).



Gambar 1: Struktur Dasar Serat Optik

Keuntungan serat optik adalah sebagai berikut:

1. Tahan terhadap gangguan RFI (*Radio Frequency Interference*) dan EMI (*Electromagnetic Interference*).

2. Keamanan, tidak bisa disadap melalui kabel biasa.
3. *Bandwidth* yang besar.
4. Tidak berkarat.
5. Jangkauan lebih jauh dibanding kabel tembaga.
6. Kecepatan transfer lebih tinggi.

Kelemahan serat optik adalah sebagai berikut:

1. Guncangan fisik akan menjadi gangguan terhadap sinyal.
2. Sulit dalam instalasi dibanding kabel tembaga yaitu penyambungan untuk instalasi atau apabila putus.
3. Pembelokan yang tajam bisa menyebabkan patah.

2.3. Penerima Optik

Penerima berfungsi untuk mengubah sinyal optik menjadi sinyal elektrik. Oleh karena itu, karakteristik yang sangat dibutuhkan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Sensitivitas tinggi
2. *Bandwidth* yang mencukupi dan respon yang cepat untuk mengakomodasi laju informasi.
3. Noise rendah.
4. Reliabilitas tinggi dan tidak terpengaruh oleh perubahan suhu.

Penerima pada sistem komunikasi serat optik terdiri dari dua bagian, yaitu:

1. Detektor penerima
 Detektor Penerima (*Photodetector*) berfungsi untuk menangkap cahaya yang berupa gelombang optik pembawa informasi.
2. Rangkaian elektrik
 Rangkaian elektrik berfungsi untuk mengkonversi cahaya pembawa informasi terhadap data informasi terhadap data informasi yang dibawa dengan melakukan regenerasi waktu, regenerasi pulsa serta konversi sinyal elektrik ke dalam interface V.28 yang berupa sinyal digital dan sebaliknya.

2.4. Pendeteksi Cahaya

Detektor adalah bagian integral dari seluruh sistem komunikasi serat optik, yang terletak pada bagian penerima. Berfungsi untuk mengubah kembali sinyal optik menjadi sinyal elektrik. Detektor optik dapat menghasilkan gelombang sesuai aslinya, dengan meminimalisasi rugi-rugi yang timbul selama perambatan, sehingga dapat juga menghasilkan sinyal elektrik yang maksimum dengan daya optik yang kecil.

Detektor penerima berfungsi untuk menangkap cahaya yang berupa gelombang optik pembawa informasi, dapat berupa PIN *diode* atau

Avalance Photo Diode (APD). Pemilihannya tergantung keperluan sistem komunikasinya. Seperti halnya pemancar optik, penerima optik juga terdiri dari bahan semikonduktor. Dikombinasikan dengan pemancar *Gallium Arsenide* (GaAs), serat *silika quartz* (SiO₂) dan *silika* (Si).

3. PARAMETER UNJUK KERJA SALURAN TRANSMISI SERAT OPTIK

Dalam perancangan suatu perencanaan sistem transmisi serat optik diperlukan suatu pengujian terhadap hasil perencanaan tersebut, hal ini diperlukan agar sistem yang direncanakan tersebut layak untuk diterapkan di lapangan. Adapun syarat-syarat yang diperlukan untuk menganalisis jalur transmisi serat optik, yaitu:

1. Jarak transmisi yang diinginkan
2. Kecepatan data atau *bandwidth*
3. *Bit error rate* (BER)

Untuk memenuhi syarat-syarat ini, maka karakteristik yang berhubungan dengan komponen- komponen yang dipilih adalah sebagai berikut:

1. Multimode atau singlemode fiber optic
 - a. Ukuran dari core
 - b. Profile indeks bias dari core
 - c. Bandwidth atau disperse
 - d. Redaman atau atenuasi
 - e. Numerical aperture
2. Sumber optik LED atau laser diode
 - a. Panjang gelombang emisi
 - b. Daya keluaran
 - c. Pola emisi
3. PIN atau APD
 - a. Responsivitas
 - b. Panjang gelombang operasi
 - c. Kecepatan
 - d. Sensitivitas

Dua analisis yang biasanya digunakan untuk memastikan bahwa sistem komunikasi serat optik yang diinginkan telah terpenuhi adalah melalui analisis *power link budget* dan *rise time budget* sistem. Pada analisis *power link budget*, mula-mula menentukan rentang daya (*power margin*) antara keluaran pemancar optik dan sensitivitas minimum dari penerima, sehingga sesuai dengan spesifikasi dari BER. Kemudian batas ini dapat dialokasikan ke konektor, sambungan dan rugi-rugi serat, ditambah beberapa batasan lain yang diperlukan untuk degradasi atau efek temperatur dari komponen yang dipakai.

Apabila analisis dengan *power link budget* telah memenuhi kriteria maka selanjutnya menggunakan analisis *rise time budget*. Perhitungan *rise time budget* merupakan metode untuk menentukan keterbatasan akibat pengaruh dispersi pada saluran transmisi. Tujuannya adalah untuk menganalisis apakah unjuk kerja sistem secara keseluruhan telah tercapai dan mampu memenuhi bit rate transmisi yang diinginkan.

3.1. Power Link Budget

Power Budget adalah perhitungan daya yang dilakukan pada suatu sistem transmisi yang didasarkan pada karakteristik saluran (rugi-rugi), sumber optik dan sensitivitas detektor. Berikut ini persamaan-persamaan yang digunakan dalam menghitung *power link budget*:

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \frac{\sqrt{SNR}}{2\sqrt{2}} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$B = \frac{1}{2} B_T \dots\dots\dots(2.2)$$

$$P_d = \frac{2 \times \text{erfc}^{-1}(BER) \times SNR}{R} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$P_s = 10 \log P_{LD} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$l = \frac{P_s - P_d - (n_s \cdot L_c) - (n_c \cdot L_s) - P_M}{L_f} \dots\dots\dots(2.5)$$

keterangan :

- P = Daya sumber optik (dBm)
- P^s = Sensitivitas penerima (dBm)
- L^d = Redaman penyambungan (*splice*) (dB)
- L^s = Redaman konektor (dB)
- n^c = Jumlah *splice*
- n^s = Jumlah konektor
- L^c = Redaman serat optik (dB/Km)
- P_M = *Margin* sistem (dB)
- F(M) = Faktor Penguatan
- B = *Bandwidth* (Hz)
- B_T = Kecepatan Data (bps)
- BER = *Bit Error Ratio*
- SNR = *Signal to Noise Ratio*

3.2. Rise Time Budget

Perhitungan *rise time budget* merupakan metode untuk menentukan keterbatasan akibat pengaruh dispersi pada saluran transmisi. Tujuannya adalah untuk menganalisis apakah unjuk kerja sistem secara keseluruhan telah tercapai dan mampu memenuhi *bit rate* transmisi yang diinginkan. *Rise time budget* dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut ini:

$$ts = M \times \sigma_{\lambda} \times L \dots\dots\dots(2.6)$$

$$t_{ris} = \sqrt{t_{rx}^2 + t_f^2 + t_{rx}^2} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$B = \frac{0,35}{t_{sis}} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$B_T = 2xB \dots \dots \dots (2.9)$$

keterangan:

- t_{sis} = Rise time total sistem
- t_{TX} = Rise time sumber optik
- t_{RX} = Rise time detektor optik
- t_s = Rise time serat optik
- σ_λ = Dispersi kromatik
- L = Panjang link
- B = Bandwidth

4. PERANCANGAN JARINGAN KOMUNIKASI SISTEM INFORMASI DAN ADMINISTRASI BRIMOB (SIAB)

Jaringan Komunikasi Sistem Informasi dan Administrasi Brimob (SIAB) berbasis serat optik ini dibangun untuk mendukung kegiatan aplikasi SIAB di Area Mako Brimob, 1 Gedung Mako Gegana, 2 Gedung Pasukan yakni Detasemen Gegana dan Pelopor, serta 4 Pool Kendaraan baik di Pas Gegana maupun Pas Pelopor. Mako Brimob sendiri menyediakan sarana interkoneksi internet dengan kecepatan Lokal 100 Mbps dan Kecepatan Internasional 20 Mbps.

4.1. Perencanaan Rute Kabel Serat Optik

Pada saat perencanaan jaringan serat optik, pemilihan rute atau jalur serat optik merupakan salah satu komponen yang harus benar – benar dipertimbangkan karena hal ini akan menyangkut beberapa hal, yaitu panjang kabel yang akan dibutuhkan, jumlah sambungan kabel atau *splice* yang akan dibutuhkan hingga pemilihan jenis kabel serat optik serta jumlah *power transmit* yang dibutuhkan hingga perlu atau tidaknya komponen penguat pada jaringan serat optik, agar sinyal informasi dapat sampai pada penerima dengan baik. Untuk itu rute dari kabel serat optik disarankan untuk mengikuti jalan yang menghubungkan masing - masing kota yang ingin dilewati oleh serat optik. Cara pemilihan rute ini memiliki keuntungan antara lain:

- a. Memudahkan *survey* di lapangan
- b. Memudahkan instalasi serat optic
- c. Memudahkan *maintenance* / pemeliharaan serat optic

Kabel yang digunakan adalah kabel optik yang mempunyai 48 inti serat, kabel ini akan diimplementasikan dengan kabel udara *aerial* (digantung) karena cara ini jauh lebih murah

dengan waktu pengimplementasian yang relatif cepat.

4.2. Identifikasi Area Lokasi

Markas Komando Brimob Kelapadua Depok membangun Jaringan Komunikasi SIAB ini terdiri dari 7 segment kabel kabel serat optik. Interkoneksi yang dilakukan akan meliputi:

1. Mako Brimob ke Pool Mako
2. Mako Brimob ke Mako Gegana
3. Mako Brimob ke Pool Bengkel Gegana
4. Mako Brimob ke Detasemen Gegana
5. Mako Brimob ke Pool KBR (Kimia, Biologi, dan Radioaktif)
6. Mako Brimob ke Pool Pelopor
7. Mako Brimob ke Danpas Pelopor

Sebelum memilih komponen, harus ditentukan terlebih dahulu kebutuhan perancangan Jaringan Komunikasi Sistem Informasi dan Adminitrasi Brimob (SIAB) yang dapat dilihat pada Tabel 2.

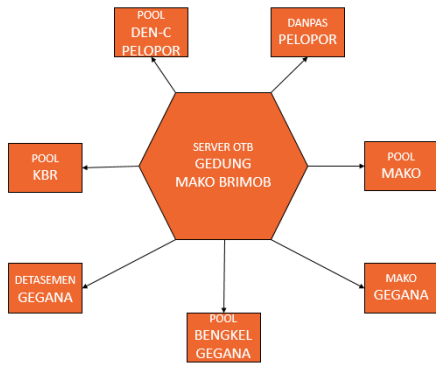
Tabel 2: Spesifikasi Kebutuhan Jaringan SIAB

Spesifikasi	Nilai
Kecepatan Data	100 Mbps
Panjang Gelombang	1310 nm
Jarak Transmisi dari Mako Brimob ke	
- Pool Mako	789 m
- Mako Gegana	788 m
- Pool Bengkel Gegana	1259 m
- Detasemen Gegana	1054 m
- Pool KBR (Kimia, Biologi, dan Radioaktif)	1486 m
- Pool Pelopor	1583 m
- Danpas Pelopor	1529 m
Bit Error Rate (BER)	10 ⁻¹⁰

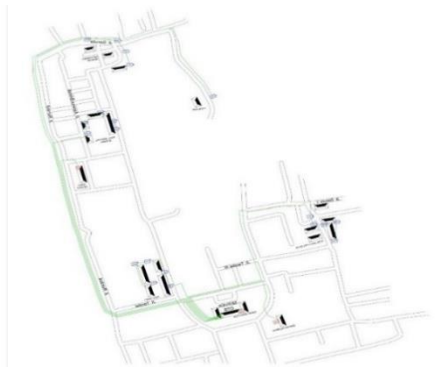
Gambar 2 dan 3 berikut ini merupakan pemetaan jalur serat optik Jaringan Komunikasi SIAB.



Gambar 2: Ilustrasi Jaringan Komunikasi SIAB



Gambar 3: Skematik Jaringan Komunikasi SIAB



Gambar 4: Jalur Kabel Serat Optik Jaringan Komunikasi SIAB

4.3. Pemilihan Komponen Optik

Pemilihan komponen untuk Perancangan Jaringan Komunikasi Sistem Informasi dan Administrasi Brimob (SIAB) dengan kebutuhan yang dijelaskan pada tabel 3.1 meliputi jenis kabel serat optik, sumber optik dan photodetektor yang digunakan. Pertama kali ditentukanlah panjang gelombang 1310 nm. Panjang gelombang tersebut dipilih berdasarkan kebutuhan SIAB akan kecepatan data yang tinggi. Pada saat penulisan tugas akhir ini *bandwidth* SIAB adalah 100 Mbps.

Selanjutnya adalah pemilihan detektor cahaya yang akan digunakan. Dalam memilih detektor cahaya kita menentukan daya minimum yang harus diterima detektor cahaya untuk mencapai BER sebesar 10^{-10} guna mencapai data yang diinginkan. Pada pengembangan SIAB dipilihlah PIN dengan panjang gelombang 1310 nm sebagai detektor cahaya pada penerima optik. Pemilihan PIN tersebut dikarenakan PIN lebih sederhana dan stabil terhadap perubahan suhu serta lebih murah dari APD. Selain itu PIN juga memiliki tegangan bias lebih kecil daripada APD.

Dalam pemilihan sumber cahaya perlu mempertimbangkan kecepatan pengiriman data, jarak transmisi dan biaya. Dengan pertimbangan tersebut maka dipilihlah laser dioda (LD) sebagai

sumber cahaya. Hal itu dikarenakan LD mempunyai kecepatan data mencapai 2,5 GHz.km. Selain itu daya kopling ke serat optik lebih besar daripada LED, sehingga dapat meminimalkan penggunaan penguat optik pada pengembangan SIAB.

Serat optik yang digelar hendaknya memperhitungkan besar kapasitasnya supaya nantinya dapat melayani penambahan kebutuhan hingga tahun-tahun yang akan datang dan dapat digunakan dalam jangka waktu yang sangat panjang. Sehingga penggelaran serat optik yang baru hanya dilakukan jika terjadi penambahan pelanggan yang jaraknya diluar jangkauan. Serat optik menggunakan tipe ragam tunggal (*single mode*) karena adanya kebutuhan *bandwidth* yang besar pada pengembangan SIAB. Dikarenakan kabel serat optik tersebut digunakan untuk *outdoor*, maka dipilihlah serat optik jenis *Single mode outdoor centra tube cable*. Kabel jenis ini lebih handal karena dilengkapi dengan bagian pembungkus yang kuat. Sehingga diharapkan kabel tersebut lebih tahan dan kuat jika ditanam di bawah tanah.

Gambar 5 dan 6 berikut ini spesifikasi komponen-komponen optik yang digunakan:

1. Kabel Serat Optik (Singlemode Outdoor Centra Rube Cable)
2. Pemancar Optik
3. Penerima Optik
4. Laser Dioda
5. Patch Cord

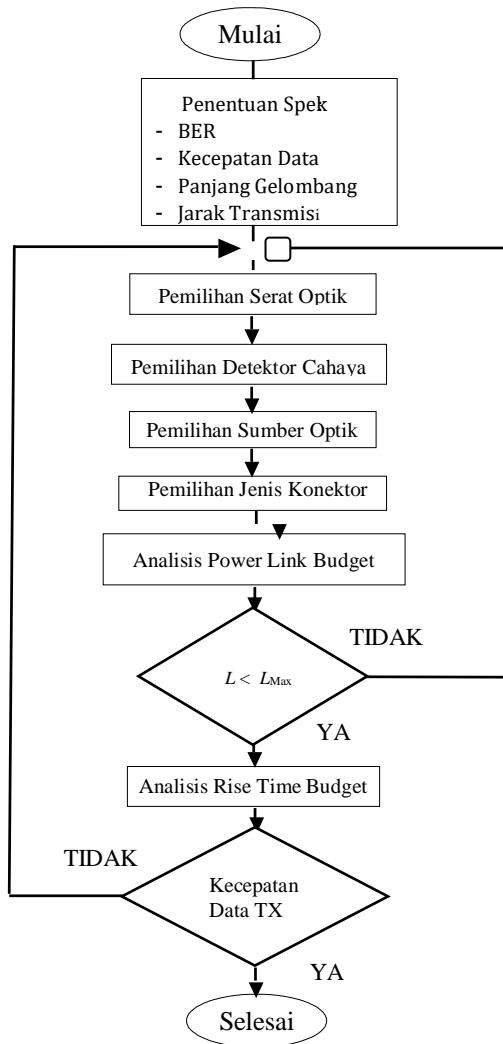


Gambar 5 : Single Mode Outdoor Centra Tube Cable



Gambar 6: Konektor SC

Gambar 7 berikut ini merupakan alur Perancangan Jaringan Komunikasi SIAB.



Gambar 7 : Flow Chart Perencanaan Jaringan Komunikasi SIAB

4.4. Instalasi Dan Terminasi Serat Optik

Instalasi Kabel Serat Optik

- Kabel serat optik dipasang di udara (aerial) dengan ditopang tiang telepon dengan panjang 7 meter yang ditanam 1/5 bagian kedalam tanah seperti gambar 3.7.
- Jarak antar tiang antara 40 – 50 meter.
- Penempatan tiang jalan tidak menutup akses jalan atau didepan pintu gerbang rumah.
- Sambungan kabel udara ditempatkan didekat tiang telepon guna memudahkan pemasangan dan pemeliharaan.
- Di dekat sambungan diberi spare kabel (kabel cadangan) yang di *loop* agar tidak terjadi gangguan *bending*, hal ini jika terjadi

gangguan masih terdapat sisa kabel yang dapat disambung.

- Salah satu dari dua ujung kabel serat optik harus di-*ground*-kan.
- Kabel serat optik ditarik mulai dari Ruang Server Mako Brimob.

Terminasi Kabel Serat Optik

- Semua core kedua ujung kabel serat optik dilakukan terminasi.
- Sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan, terminasi dengan *SC connector*.

4.5. Parameter Performansi Serat Optik

4.5.1 Power Link Budget

Power Budget adalah perhitungan daya yang dilakukan pada suatu sistem transmisi yang didasarkan pada karakteristik saluran (rugi-rugi), sumber optik dan sensitivitas detektor.

Tabel 3: Karakteristik Jalur Transmisi Serat Optik

No	Karakteristik	Nilai
1	Serat optic	Wavelength 1310 nm
2	Loss Serat Optik	0,22 dB/km
3	Loss Splice	0,05 dB
4	Loss konektor	0,15 dB
5	Sensitivitas penerima	-30 dBm
6	Margin system	9 dB

Berikut ini perhitungan *power link budget* untuk setiap jalur transmisi:

- Langkah 1: Menghitung *Bandwidth*

Pada jaringan komunikasi SIAB ini menggunakan transmisi digital NRZ, sehingga besarnya *bandwidth* adalah sebagai berikut:

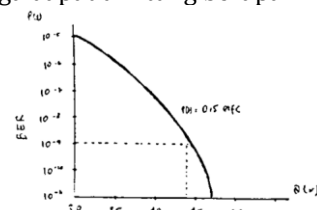
$$B = \frac{B_T}{2}$$

$$B = \frac{100 \times 10^6}{2}$$

$$B = 50 \text{ MHz}$$

- Langkah 2: Menghitung SNR

Pada Gambar 8, grafik 0.5 erfc dibawah dengan BER 10⁻¹⁰ diketahui nilainya mendekati 4.55, sehingga dapat dihitung berapa nilai SNR nya.



Gambar 8 : Grafik 0,5 erfc

$$\text{BER} = 0.5 \operatorname{erf} \frac{\sqrt{\text{SNR}}}{2\sqrt{2}}$$

$$10^{-10} = 0.5 \operatorname{erf} \frac{\sqrt{\text{SNR}}}{2\sqrt{2}}$$

$$4,55 = \frac{\sqrt{\text{SNR}}}{2\sqrt{2}}$$

$$\text{SNR} = 165,63$$

c. Langkah 3: Faktor penguatan
 Faktor penguatan untuk penerima optik jenis PIN adalah 1.

d. Langkah 4: Menghitung sensitifitas penerima optik

Dari perhitungan *bandwidth*, SNR dan faktor penguatan PIN dapat dihitung besar sensitifitas penerima optik.

$$P_d = \frac{2e \times B \times F(M) \times \text{SNR}}{R}$$

$$P_d = \frac{(2 \times 1,6 \times 10^{-19}) \times (50 \times 10^6) \times 1 \times 165,2}{1}$$

$$P_d = 2,65 \times 10^{-12} \text{ nW}$$

$$P_d \text{ (dBm)} = 10 \log (2,65 \times 10^{-12})$$

$$P_d \text{ (dBm)} = -115,76 \text{ dBm}$$

e. Langkah 5: Menghitung *power launching*
Power launching dapat dihitung dengan menggunakan data sumber optik yang digunakan, yaitu laser dioda. Daya keluaran dari laser ke serat optik sebesar 1,5 mW.

$$P_s = 10 \log P_f$$

$$P_s = 10 \log (1,5 \text{ mW})$$

$$P_s = 1,76 \text{ dBm}$$

f. Langkah 6: Menghitung panjang maksimum
 Dari hasil perhitungan daya pemancar, daya penerima, dan rugi-rugi (loss) yang ada maka dapat dihitung panjang maksimum serat optik tanpa memerlukan penguat optik.

$$L = \frac{P_s - P_d - (n_c L_c) - (n_s L_s) - P_M}{L_f}$$

$$L = \frac{1,76 - (-115,76) - (2 \times 0,15) - 0 - 9}{0,22}$$

$$L = 491,9 \text{ km}$$

Dari hasil perhitungan *power link budget* didapatkan jarak jangkauan maksimum sebesar 491.9 km sebelum menggunakan penguat optik. Hal ini berarti jarak tersebut lebih besar dari jalur transmisi serat optik yang di rancang di Mako Brimob sehingga tidak membutuhkan penguat optik.

4.5.2. Rise Time Budget

Perhitungan *rise time budget* merupakan metode untuk menentukan keterbatasan akibat pengaruh dispersi pada saluran transmisi. Tujuannya adalah untuk menganalisis apakah

unjuk kerja sistem secara keseluruhan telah tercapai dan mampu memenuhi *bit rate* transmisi yang diinginkan.

Tabel 4 Karakteristik *Rise Time Budget*

Karakteristik	Deskripsi
Serat Optik	Single mode (1310 nm)
Rise Time pemancar optik (T _{tx})	0,6 ns
Rise Time penerima optik (T _{rx})	0,5 ns
Lebar Spektrum (Δ(δ))	1 nm
Dispersi Kromatis (M(δ))	18 ps/nm km

Berikut ini perhitungan *rise time budget* untuk setiap jalur transmisi:

a. Mako Brimob – Pool Mako

Langkah 1: Menghitung waktu naik serat optik

$$t_s = M \times \Delta \times L$$

$$t_s = \left\{ 18 \frac{\text{ps}}{\text{nm.km}} \right\} \times 1 \text{ nm} \times 0,789 \text{ km}$$

$$t_s = 0,014202 \text{ ns}$$

Langkah 2: Menghitung waktu naik sistem komunikasi serat optik

$$t_{\text{sis}} = \sqrt{t_{\text{tx}}^2 + t_s^2 + t_{\text{rx}}^2}$$

$$t_{\text{sis}} = \sqrt{(0,6 \times 10^{-9})^2 + (0,014202 \times 10^{-9})^2 + (0,5 \times 10^{-9})^2}$$

$$t_{\text{sis}} = 7,81154 \times 10^{-10}$$

$$t_{\text{sis}} = 0,781154 \text{ ns}$$

Langkah 3: Menghitung *bandwidth* sistem yang dapat dicapai

$$B = \frac{0,35}{t_{\text{sis}}}$$

$$B = \frac{0,35}{0,781154 \times 10^{-9}}$$

$$B = 448,0550 \text{ MHz}$$

Langkah 4: Menghitung data kecepatan maksimum

$$B_T = 2 \times B$$

$$B_T = 2 \times 448,0550 \times 10^6$$

$$B_T = 896,11 \text{ Mbps}$$

b. Mako Brimob – Mako Gegana

Langkah 1: Menghitung waktu naik serat optik

$$t_s = M \times \Delta \times L$$

$$t_s = \left\{ 18 \frac{\text{ps}}{\text{nm.km}} \right\} \times 1 \text{ nm} \times 0,788 \text{ km}$$

$$t_s = 0,014184 \text{ ns}$$

Langkah 2: Menghitung waktu naik sistem komunikasi serat optik

$$t_{\text{sis}} = \sqrt{t_{\text{tx}}^2 + t_s^2 + t_{\text{rx}}^2}$$

$$t_{sis} = \sqrt{(0,6 \times 10^{-9})^2 + (0,014184 \times 10^{-9})^2 + (0,5 \times 10^{-9})^2}$$

$$t_{sis} = 7,811537 \times 10^{-10}$$

$$t_{sis} = 0,7811537ns$$

Langkah 3: Menghitung *bandwidth* sistem yang dapat dicapai

$$B = \frac{0,35}{t_{sis}}$$

$$B = \frac{0,35}{0,7811537 \times 10^{-9}}$$

$$B = 448,0552 \text{ MHz}$$

Langkah 4: Menghitung data kecepatan maksimum

$$B_T = 2 \times B$$

$$B_T = 2 \times 448,0552 \times 10^6$$

$$B_T = 896,1104 \text{ Mbps}$$

c. Mako Brimob – Pool Bengkel Gegana

Langkah 1: Menghitung waktu naik serat optik

$$t_s = M \times \Delta \times L$$

$$t_s = \left\{ 18 \frac{ps}{nm.km} \right\} \times 1nm \times 1,259km$$

$$t_s = 0,022662ns$$

Langkah 2: Menghitung waktu naik sistem komunikasi serat optik

$$t_{sis} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_s^2 + t_{rx}^2}$$

$$t_{sis} = \sqrt{(0,6 \times 10^{-9})^2 + (0,022662 \times 10^{-9})^2 + (0,5 \times 10^{-9})^2}$$

$$t_{sis} = 7,813536 \times 10^{-10}$$

$$t_{sis} = 0,781356ns$$

Langkah 3: Menghitung *bandwidth* sistem yang dapat dicapai

$$B = \frac{0,35}{t_{sis}}$$

$$B = \frac{0,35}{0,781356 \times 10^{-9}}$$

$$B = 447,9392 \text{ MHz}$$

Langkah 4: Menghitung data kecepatan maksimum

$$B_T = 2 \times B$$

$$B_T = 2 \times 447,9392 \times 10^6$$

$$B_T = 895,8784 \text{ Mbps}$$

d. Mako Brimob – Detasemen Gegana

Langkah 1: Menghitung waktu naik serat optik

$$t_s = M \times \Delta \times L$$

$$t_s = \left\{ 18 \frac{ps}{nm.km} \right\} \times 1nm \times 1,054km$$

$$t_s = 0,018972ns$$

Langkah 2: Menghitung waktu naik sistem komunikasi serat optik

$$t_{sis} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_s^2 + t_{rx}^2}$$

$$t_{sis} = \sqrt{(0,6 \times 10^{-9})^2 + (0,018972 \times 10^{-9})^2 + (0,5 \times 10^{-9})^2}$$

$$t_{sis} = 7,812553 \times 10^{-10}$$

$$t_{sis} = 0,7812553ns$$

Langkah 3: Menghitung *bandwidth* sistem yang dapat dicapai

$$B = \frac{0,35}{t_{sis}}$$

$$B = \frac{0,35}{0,7812553 \times 10^{-9}}$$

$$B = 447,9969 \text{ MHz}$$

Langkah 4: Menghitung data kecepatan maksimum

$$B_T = 2 \times B$$

$$B_T = 2 \times 447,9969 \times 10^6$$

$$B_T = 895,9938 \text{ Mbps}$$

e. Mako Brimob – Pool KBR

Langkah 1: Menghitung waktu naik serat optik

$$t_s = M \times \Delta \times L$$

$$t_s = \left\{ 18 \frac{ps}{nm.km} \right\} \times 1nm \times 1,486km$$

$$t_s = 0,026784ns$$

Langkah 2: Menghitung waktu naik sistem komunikasi serat optik

$$t_{sis} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_s^2 + t_{rx}^2}$$

$$t_{sis} = \sqrt{(0,6 \times 10^{-9})^2 + (0,026784 \times 10^{-9})^2 + (0,5 \times 10^{-9})^2}$$

$$t_{sis} = 7,81484 \times 10^{-10}$$

$$t_{sis} = 0,781484ns$$

Langkah 3: Menghitung *bandwidth* sistem yang dapat dicapai

$$B = \frac{0,35}{t_{sis}}$$

$$B = \frac{0,35}{0,781484 \times 10^{-9}}$$

$$B = 447,8658 \text{ MHz}$$

Langkah 4: Menghitung data kecepatan maksimum

$$B_T = 2 \times B$$

$$B_T = 2 \times 447,8658 \times 10^6$$

$$B_T = 895,7316 \text{ Mbps}$$

f. Mako Brimob – Pool Pelopor

Langkah 1: Menghitung waktu naik serat optik

$$t_s = M \times \Delta \times L$$

$$t_s = \left\{ 18 \frac{ps}{nm.km} \right\} \times 1nm \times 1,583km$$

$$t_s = 0,028494ns$$

Langkah 2: Menghitung waktu naik sistem komunikasi serat optik

$$t_{sis} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_s^2 + t_{rx}^2}$$

$$t_{sis} = \sqrt{(0,6 \times 10^{-9})^2 + (0,028494 \times 10^{-9})^2 + (0,5 \times 10^{-9})^2}$$

$$t_{sis} = 7,815445 \times 10^{-10}$$

$$t_{sis} = 0,7815445ns$$

Langkah 3: Menghitung *bandwidth* sistem yang dapat dicapai

$$B = \frac{0,35}{t_{sis}}$$

$$B = \frac{0,35}{0,7815445^{-9}}$$

$$B = 447,8311 \text{ MHz}$$

Langkah 4: Menghitung data kecepatan maksimum

$$B_T = 2 \times B$$

$$B_T = 2 \times 447,8311 \times 10^6$$

$$B_T = 895,6622 \text{ Mbps}$$

g. Mako Brimob – Danpas Pelopor

Langkah 1: Menghitung waktu naik serat optik

$$t_s = M \times \Delta \times L$$

$$t_s = \left\{ 18 \frac{ps}{nm.km} \right\} \times 1nm \times 1,529km$$

$$t_s = 0,027522ns$$

Langkah 2: Menghitung waktu naik sistem komunikasi serat optik

$$t_{sis} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_s^2 + t_{rx}^2}$$

$$t_{sis} = \sqrt{(0,6 \times 10^{-9})^2 + (0,027522 \times 10^{-9})^2 + (0,5 \times 10^{-9})^2}$$

$$t_{sis} = 7,815097 \times 10^{-10}$$

$$t_{sis} = 0,7815097ns$$

Langkah 3: Menghitung *bandwidth* sistem yang dapat dicapai

$$B = \frac{0,35}{t_{sis}}$$

$$B = \frac{0,35}{0,7815097^{-9}}$$

$$B = 447,8511 \text{ MHz}$$

Langkah 4: Menghitung data kecepatan maksimum

$$B_T = 2 \times B$$

$$B_T = 2 \times 447,8511 \times 10^6$$

$$B_T = 895,7022 \text{ Mbps}$$

Dari hasil perhitungan *rise time budget* didapat kecepatan data maksimum setiap jalur transmisi serat optik yaitu:

Tabel 5: Daftar Kecepatan Data Maksimum Jalur Transmisi Mako Brimob

Jalur Transmisi dari Mako Brimob ke	Jarak Transmisi (Km)	Kecepatan Data Maksimum (Mbps)
Pool Mako	0,789	896,11
Mako Gegana	0,788	896,1104
Pool Bengkel Gegana	1,259	895,8784
Detasemen Gegana	1,054	895,9938
Pool KBR	1,486	895,7316
Pool Pelopor	1,583	895,6622
Danpas Pelopor	1,529	895,7022

Kecepatan pada tabel diatas lebih besar dari kecepatan data yang diisyaratkan oleh Mako Brimob pada perancangan jaringan komunikasi SIAB yaitu 100 Mbps, sehingga sistem perancangan ini dapat diaplikasikan pada aplikasi SIAB. Selain itu diharapkan juga, jika pada waktu yang akan datang Mako Brimob hendak meningkatkan kecepatan pada jaringan komunikasi SIAB, maka sistem komunikasi serat optik ini masih dapat digunakan.

5. ANALISIS PERANCANGAN JARINGAN KOMUNI-KASI SIAB

5.1. Analisis Rugi-Rugi Saluran Transmisi Serat Optik

Dalam suatu sistem transmisi serat optik harus memungkinkan interkoneksi serat optik yang membawa cahaya untuk mengatasi jarak yang lebih jauh. Teknik koneksi yang digunakan harus dalam tingkat ketelitian tinggi. Tujuan menghubungkan dua buah serat optik adalah untuk menggabungkan cahaya yang dibawa dalam salah satu serat optik kedalam inti dari serat optik lainnya yang sesuai dengan rugi-rugi yang sekecil mungkin. Adapun standarisasi redaman serat optik idealnya sebagaimana Tabel 6 berikut:

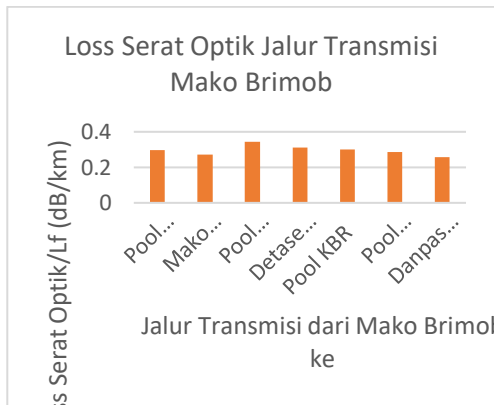
Tabel 6: Standarisasi Ideal Redaman Serat Optik

Uraian	Tipe	Satuan	Standar Redaman (dB)
Kabel Serat Optik	Wavelength 1310 nm	Km	0,35
Splitter	1:2	Pcs	3,70
	1:4	Pcs	7,25
	1:8	Pcs	10,38
	1:16	Pcs	14,10
	1:32	Pcs	17,45
Konektor	SC/UPC	Pcs	0,25
	SC/APC	Pcs	0,35
Sambungan	di kabel feeder	Titik	0,10
	di kabel distrib.	Titik	0,10
	di drop kabel	Titik	0,10

Tabel 7 berikut ini rincian hasil pengukuran loss pada saluran transmisi.

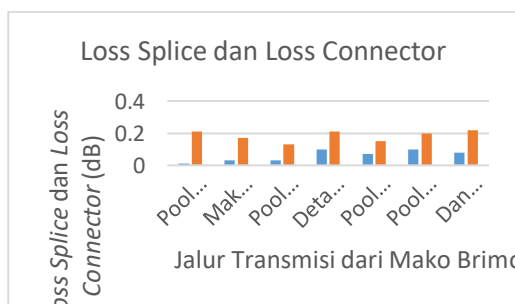
Tabel 7: Hasil Pengukuran OTDR Jalur Transmisi Mako Brimob

Jalur Transmisi dari Mako Brimob ke	Loss Serat Optik (L_f) dB/km	Loss Splice (L_s) dB	Loss Connector (L_c) dB
Pool Mako	0,297	0,01	0,21
Mako Gegana	0,272	0,03	0,17
Pool BgkelGegana	0,345	0,03	0,13
DetasemenGegana	0,312	0,10	0,21
Pool KBR	0,299	0,07	0,15
Pool Pelopor	0,285	0,10	0,20
Danpas Pelopor	0,256	0,08	0,22



Gambar 9: Grafik Loss Serat Optik Jalur Transmisi Mako Brimob

Pada sistem transmisi serat optik, cahaya yang merambat sepanjang serat optik akan mengalami peredaman, sehingga diujung jauh (sisi penerima) kekuatan cahaya akan menjadi lemah. Dari Gambar 9 terlihat bahwa semua core pada jalur transmisi mako brimob mempunyai nilai *loss* serat optik yang rendah. Dengan nilai *loss serat optik* yang rendah diharapkan kualitas jalur transmisi pun akan semakin baik (Gambar 10).



Gambar 10: Grafik Loss Splice dan Loss Connector Jalur Transmisi Mako Brimob

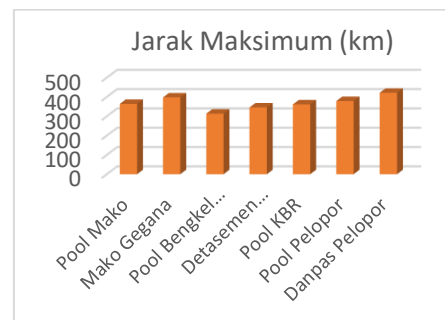
Pada Gambar 10 terlihat bahwa *loss splice* dan *loss connector* jalur transmisi Mako brimob masih dalam batas *loss* ideal. *Splice* merupakan teknik penyambungan serat optik secara permanen. Teknik penyambungan ini akan menghasilkan *loss* yang disebut *loss splice*. Sedangkan *Connector* merupakan sambungan pada ujung terminal serat optik. Setiap *Connector* memiliki *loss* tertentu sesuai implementasinya yang disebut *loss connector*.

5.2. Analisis Jarak Jarak Maksimum Setiap Jalur Transmisi

Dari hasil pengukuran rugi-rugi saluran transmisi pada Tabel 7, dapat dihitung jarak maksimum yang dapat dicapai oleh setiap jalur transmisi. Tabel 8 berikut ini hasil perhitungannya.

Tabel 8: Analisa Jarak Maksimum Jalur Transmisi Serat Optik Mako Brimob

No	Jalur Transmisi dari Mako Brimob ke	Jarak Maksimum (Km)
1	Pool Mako	363.9057
2	Mako Gegana	397.5
3	Pool Bengkel Gegana	313.6232
4	Detasemen Gegana	345.8333
5	Pool KBR	361.4716
6	Pool Pelopor	378.6666
7	Danpas Pelopor	421.5625
Rata-rata Jarak Maksimum		368.9375



Gambar 11: Grafik Perbandingan Jarak Maksimum Jalur Transmisi Serat Optik Mako Brimob

Pada Gambar 11 dapat dilihat jalur transmisi serat optik Mako Brimob memiliki jarak maksimum yang cukup tinggi. Hal itu dikarenakan *loss* serat optik, *loss splicing* dan *loss connector* pada setiap core jalur transmisi tersebut masih dalam kategori redaman ideal. Sehingga dengan menggunakan nilai *loss* tersebut didapatkan lah nilai jarak maksimum yang dapat dicapai sebelum menggunakan penguat. Jarak maksimum tersebut

lebih kecil dari jarak maksimum yang didapat pada perencanaan, sehingga dapat dipastikan bahwa saluran transmisi serat optik Mako Brimob memenuhi syarat.

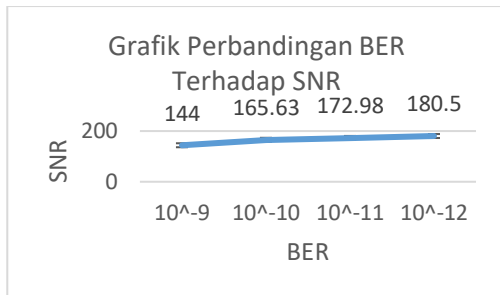
5.3. Analisis Power Link Budget

Tabel 9 berikut ini merupakan rincian hubungan antara BER terhadap SNR, daya keluaran pemancar dan jarak maksimum yang dapat dicapai tanpa menggunakan penguat optik.

Tabel 9: Perbandingan BER terhadap SNR, P_d & Jarak

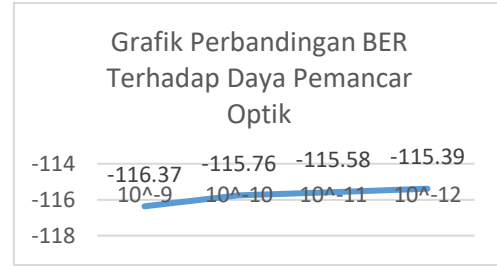
BER	SNR	P_d (dBm)	Jarak (km)
10^{-9}	144.00	-116.37	494.68
10^{-10}	165.63	-115.76	491.90
10^{-11}	172.98	-115.58	491.09
10^{-12}	180.50	-115.39	490.23

Dari Tabel 9 dapat dilihat bahwa BER mempengaruhi SNR dan jarak maksimum yang dapat dicapai tanpa menggunakan penguat. Jarak maksimum tanpa penguat untuk BER 10^{-10} adalah 491,90 km, sedangkan untuk BER 10^{-12} adalah 490,23 km. Semakin besar BER maka SNR semakin besar, akan tetapi jarak transmisi akan semakin pendek.



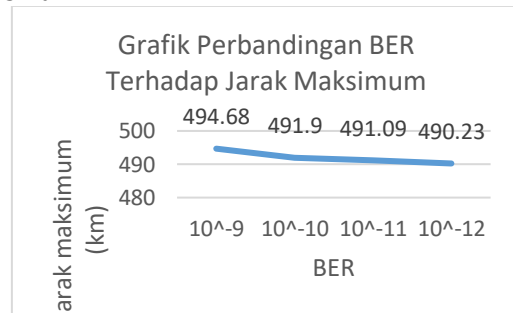
Gambar 12: Grafik Perbandingan BER terhadap SNR

Dari Gambar 12, BER yang akan dibandingkan adalah 10^{-9} – 10^{-12} . Range tersebut dipilih karena peralatan yang digunakan pada perancangan jaringan komunikasi serat optik SIAB mempunyai kisaran range dari 10^{-9} – 10^{-12} . BER yang digunakan pada perencanaan adalah 10^{-10} yang didapat langsung dari hasil wawancara dengan kepala Vendor Jaringan Komunikasi Serat Optik SIAB Mako Brimob Kelapadua Depok, Bapak Prapto. Dari grafik dapat dilihat bahwa selisih nilai SNR untuk BER 10^{-10} dengan 10^{-12} tidak jauh berbeda yaitu 14.87.



Gambar 13: Grafik Perbandingan BER Terhadap Daya Pemancar Optik

Demikian juga halnya dengan nilai daya pemancar optik yang dibutuhkan jika menggunakan BER 10^{-10} terdapat selisih yang sangat kecil jika menggunakan BER 10^{-12} yaitu 0.37 dBm.



Gambar 14: Grafik Perbandingan BER Terhadap Jarak Maksimum

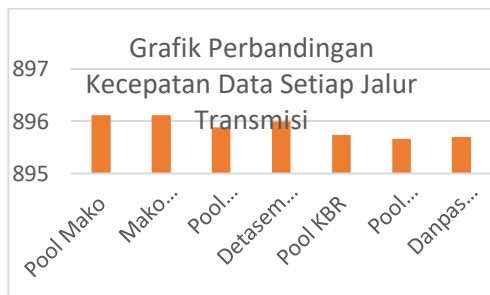
Demikian pula halnya dengan jarak maksimum yang dapat dicapai sebelum menggunakan penguat optik hanya terdapat selisih 1,67 km antara BER 10^{-10} dengan BER 10^{-12} . Dari ketiga grafik diatas, dapat dipastikan bahwa dengan menggunakan BER 10^{-10} seperti yang disyaratkan pada Jaringan Komunikasi SIAB kualitas jaringan sudah memenuhi kebutuhan jaringan di Mako Brimob Kelapadua Depok. Hal ini dikarenakan kebutuhan Mako Brimob hanya sebatas penggunaan internal dan bukan sebagai *backbone* jaringan nasional. Akan tetapi jika memang Mako Brimob hendak meningkatkan nilai BER pada Jaringan SIAB, masih tetap dapat diterapkan pada saluran transmisi serat optik semua titik, karena peralatan yang digunakan pada perencanaan ini mempunyai range BER dari 10^{-10} – 10^{-12} .

5.4. Analisis Rise Time Budget

Dari hasil perencanaan *rise time budget*, berikut ini rincian kecepatan data pada setiap saluran transmisi.

Tabel 10: Perbandingan *Rise Time Budget* pada Setiap Jalur Transmisi

No	Jalur Transmisi dari Mako Brimob ke	Jarak Transmisi (Km)	Kecepatan Data Maksimum (Mbps)
1	Pool Mako	0,789	896,1100
2	Mako Gegana	0,788	896,1104
3	Pool Bengkel Gegana	1,259	895,8784
4	Detasemen Gegana	1,054	895,9938
5	Pool KBR	1,486	895,7316
6	Pool Pelopor	1,583	895,6622
7	Danpas Pelopor	1,529	895,7022
Rata-rata Jarak dan Kecepatan Data		1.2125	895.8840



Gambar 15: Grafik Perbandingan Kecepatan Data Setiap Jalur Transmisi

Gambar 15 menunjukkan kecepatan data untuk semua titik jalur transmisi serat optik di Mako Brimob. Dari grafik dapat diketahui kecepatan data terendah adalah kecepatan data saluran transmisi Mako Brimob ke Pool Pelopor yaitu 895,6622 Mbps dan yang tertinggi adalah kecepatan data saluran transmisi Mako Brimob ke Mako Gegana yaitu 896,1104 Mbps. Hal itu dikarenakan kecepatan data dipengaruhi oleh jarak transmisi. Semakin jauh jarak transmisi maka kecepatan data akan semakin kecil demikian juga sebaliknya, semakin kecil jarak transmisi maka kecepatan data akan semakin besar.

6. SIMPULAN

Berdasarkan uraian diatas dapat disimpulkan beberapa hal diantaranya adalah sebagai berikut ini.

1. Jarak maksimum tertinggi adalah jalur Mako Brimob ke Danpas Pelopor yaitu 421.5625 km, terendah adalah jalur Mako Brimob ke Pool Bengkel Gegana yaitu 313.6232 km, dan rata-rata yaitu 368.9375 km. Dengan menggunakan perangkat optik yang sama,

didapat bahwa semakin kecil jarak transmisi serat optik maka jarak maksimum tanpa penguat akan semakin jauh.

2. Kecepatan data maksimum tertinggi adalah jalur Mako Brimb ke Pool Mako yaitu 896.11 Mbps, terendah adalah jalur Mako Brimob ke Pool Pelopor yaitu 895.6622 Mbps, dan rata-rata yaitu 895.8840 Mbps. Kecepatan data sistem komunikasi serat optik dipengaruhi oleh jarak transmisi. Semakin kecil jarak transmisi maka kecepatan data akan semakin besar. Begitu juga sebaliknya, semakin besar jarak transmisi maka kecepatan data akan semakin kecil.
3. BER mempengaruhi SNR dan jarak maksimum yang dapat dicapai tanpa menggunakan penguat. Jarak maksimum tanpa penguat untuk BER 10^{-10} adalah 491,90 km, sedangkan untuk BER 10^{-12} adalah 490,23 km. Semakin besar BER maka SNR semakin besar, akan tetapi jarak transmisi akan semakin pendek.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bass, Michael and Stryland, Eric W Van. 2002. *Fiber Optics Handbook: Fiber, Devices, and Systems for Optical Communications*. New York : Mc Graw-Hill Companies Inc., 2002.
2. Hantoro, Gunadi Dwi. 2015. *FIBER OPTIC: Teknologi Material, Instalasi Dan Implementasi Fiber Untuk Berbagai Kebutuhan*. Bandung: Informatika, 2015.
3. Kaminow, Ivan P., Li, Tingye dan Willner, Alan E. 2008. *Optical Fiber Telecommunications: Components and Subsystems*. Massachusetts : Academic Press, 2008.
4. Killen, Harold B. 1991. *Fiber Optic Communication*. New Jersey : Prentice Hall International Editions, 1991.
5. Ramaswami, Rajiv dan Sivarajan, Kumar N. 1998. *Optical Networks: A Practical Perspective*. San Francisco : Morgan Kaufmann Publishers, 1998.
6. Tjia, M.O. dan Siregar, R.E. 2016. *Pengantar Sistem Komunikasi Serat Optik*. Bandung : Penerbit ITB, 2016.
7. Subhan, A. dkk (2021), Analisa Perancangan Sistem Informasi Manaje-men Validasi Data Pembangunan Fiber Optik, Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komouter, Vo. 8 No. 9: 1107-1116
8. CV. Jaya Multi Mandiri. 2015. Pemahaman Pengukuran Redaman (Rugi-rugi) Serat Optik. *Digital Meter Indonesia*. [Online] 2015. [Dikutip: 4 Juli 2018] <https://indodigital.com/pemahaman-pengukuran-redaman-rugi-rugi-serat-optik.html>.

9. Tim Elektro HME-ITB. 2000. Sistem Komunikasi Serat Optik. www.elektroindonesia.com. [Online] elektron@hme.ee.itb.ac.id, 1 April 2000. [Dikutip: 12 Juni 2018]
<https://www.elektroindonesia.com/elektro/el0400b.html>.