

ANALISIS PENGARUH DISPERSI TERHADAP RUGI-RUGI DAYA TRANSMISI PADA SERAT OPTIK *SINGLE MODE* REKOMENDASI ITU-T SERI G.655

Romaria, M. Zulfin

Konsentrasi Teknik Telekomunikasi, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
e-mail: romaria@students.usu.ac.id or romariagultom@yahoo.com

Abstrak

Serat optik sebagai salah satu media transmisi yang berkembang saat ini masih memiliki berbagai macam rugi-rugi, diantaranya rugi-rugi yang diakibatkan oleh dispersi. Dispersi merupakan peristiwa melebar pulsa optik yang merambat sepanjang serat optik sehingga bertumpang tindih dengan pulsa tetangganya, mengakibatkan sejumlah *bit error* dalam transmisi bertambah besar sehingga mempengaruhi *bit rate* sinyal dan ukuran kapasitas informasi yang dikirim. Pada tulisan ini dibahas pengaruh dispersi pada serat optik *single mode* G.655 dengan membandingkan metode pengukuran dan perhitungan. Adapun hasil yang diperoleh dari analisis dispersi untuk panjang gelombang 1550 nm pada link Medan Centrum – Pulo Brayan sebesar 16,589 ps/km.nm dan link Pulo Brayan – Bandar Baru sebesar 8,214 ps/km.nm, nilai ini tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan yaitu 16,535 ps/km.nm untuk link Medan Centrum – Pulo Brayan dan 8,158 ps/km.nm untuk link Pulo Brayan – Bandar Baru. Nilai dispersi pada sistem harus lebih kecil dari nilai bit rate agar tidak mengganggu kinerja dari sistem. Untuk mengatasi dispersi, perlu dilakukan *dispersion power penalty* (P_d) yaitu menaikkan daya input yang dibutuhkan *receiver* untuk mengeliminasi degradasi pada BER (*bit error rate*) dengan nilai $P_d < 2$ dB.

Kata kunci : Serat Optik, Dispersi, *Dispersion Power Penalty*

1. Pendahuluan

Dalam meningkatkan pelayanan telekomunikasi digital menggunakan kabel serat optik sebagai media transmisi data masih mengalami faktor hilangnya informasi yang diakibatkan oleh rugi - rugi yang terjadi disepanjang kabel serat optik. Salah satu rugi - rugi tersebut adalah rugi - rugi daya yang diakibatkan oleh dispersi di sepanjang kabel serat optik. Dispersi ini mengakibatkan pulsa - pulsa yang transmisikan pada ujung serat optik menjadi melebar. Bila pulsa-pulsa tersebut diterima pada ujung yang lain akan membatasi jumlah pulsa-pulsa perunit waktu (*bit rate*) yang dapat di deteksi pada jarak tertentu [1].

Nilai dispersi pada sistem harus lebih kecil dari nilai bit rate agar tidak mengganggu kinerja dari sistem. Untuk mengatasi dispersi perlu dilakukan *dispersion power penalty* yaitu dengan menaikkan daya input pada *receiver* untuk mengeliminasi degradasi pada BER [2].

2. Serat Optik *Single Mode*

Serat optik merupakan saluran transmisi yang terbuat dari kaca atau plastik yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat lain [3].

Berdasarkan sifat dan karakteristiknya maka jenis serat optik secara garis besar dapat dibagi menjadi dua yaitu *single mode* dan *multimode*. Serat optik *single mode/monomode* mempunyai diameter inti (*core*) yang sangat kecil 3 – 10 μm , sehingga hanya satu berkas cahaya, saja yang dapat melaluinya. Serat optik *single mode* sering dipergunakan pada sistem transmisi serat optik jarak jauh atau luar kota (*long haul transmission system*) sedangkan *multimode* digunakan pada sistem transmisi jarak pendek dengan diameter inti (*core*) sesuai rekomendasi dari CCITT G.651 sebesar 50 μm dan dilapisi oleh jaket selubung (*cladding*) dengan diameter 125 μm [4].

Pada serat optik *single mode* terdapat empat macam tipe yang sering digunakan berdasarkan rekomendasi ITU-T (*International Telecommunication Union – Telecommunication*

Standardization Sector) yang dahulu dikenal dengan CCITT yaitu [4]:

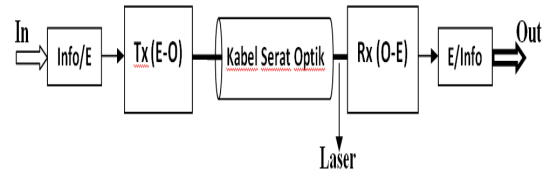
- 1.G.652 -Standar *Single Mode Fiber*
- 2.G.653 -*Dispersion-Shifted Single Mode Fiber*
- 3.G.653 -*Characteristics of Cut-Off Shifted Mode Fiber Cable*
- 4.G.655 -*Dispersion-Shifted Non Zero Dispersion Fiber.*

Untuk mendukung sistem yang mentransmisikan informasi dengan kapasitas tinggi, pemilihan serat optik yang tepat sebagai media transmisi juga diperhatikan. Ada dua tipe serat optik yang digunakan pada sistem DWDM, yaitu [4]:

1. *Non Dispersion Shifted Fiber (NDSF)*
Serat optik *Non Dispersion Shifted Fiber (NDSF)* merupakan rekomendasi ITU-T seri G.652. NDSF memiliki nilai koefisien dispersi kromatik mendekati nol di daerah panjang gelombang 1310 nm .
2. *Non Zero Dispersion Shifted Fiber (NZDSF)*
Non Zero Dispersion Shifted Fiber (NZDSF) merupakan jenis fiber yang sesuai dengan rekomendasi ITU-T seri G.655 dengan *range* panjang gelombang 1255 – 1650 nm. NZDSF memiliki nilai dispersi tidak nol namun juga tidak lebar di daerah panjang gelombang 1550 nm dibandingkan dengan serat optik *Non Dispersion Shifted Fiber (NDSF)*.

3. Sistem Transmisi Serat Optik

Sistem Komunikasi secara umum terdiri dari sumber optik, pemancar sebagai sumber pengirim informasi, detektor penerima informasi, dan media transmisi sebagai sarana untuk melewatkannya. Pengirim bertugas untuk mengolah informasi yang akan disampaikan agar dapat dilewatkan melalui suatu media sehingga informasi tersebut dapat sampai dan diterima dengan baik dan benar di tujuan/penerima. Perangkat yang ada di penerima bertugas untuk menterjemahkan informasi kiriman tersebut sehingga maksud dari informasi dapat dimengerti. Pada sistem komunikasi serat optik, sinyal informasi diubah ke sinyal listrik lalu diubah lagi ke optik/cahaya. Sinyal ini kemudian di lewatkan melalui serat optik, yang setelah sampai di penerima nanti, cahaya tersebut diubah kembali ke listrik dan akhirnya diterjemahkan menjadi sinyal informasi. Blok diagram sistem komunikasi serat optik ditunjukkan pada Gambar 1 [5].



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Komunikasi Serat Optik

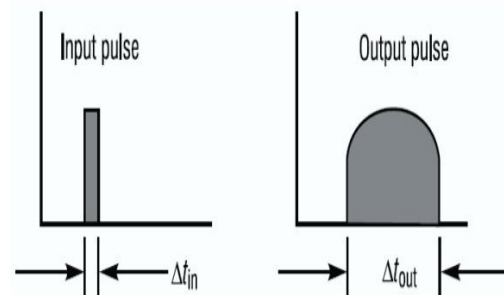
4. Redaman Pada Serat Optik

Redaman serat optik dinyatakan dengan satuan dB/km. Macam-macam redaman serat optik adalah sebagai berikut [6] :

1. *Rayleigh Scattering*, yaitu redaman dari gelombang pendek yang diakibatkan oleh struktur kaca yang tidak teratur. Struktur ini akan memindahkan sebagian dari berkas cahaya yang seharusnya merambat langsung melalui serat optik.
2. *Mikrobending* terjadi akibat tekanan mekanik sewaktu proses penarikan.
3. *Absorption* yaitu redaman untuk panjang gelombang yang tinggi (diatas 1600 nm) yang disebabkan oleh penyerapan dari gelas.
4. Dispersi yaitu redaman yang disebabkan oleh pulsa-pulsa yang ditransmisikan pada ujung serat optik sebagai akibat dari panjang perambatan.

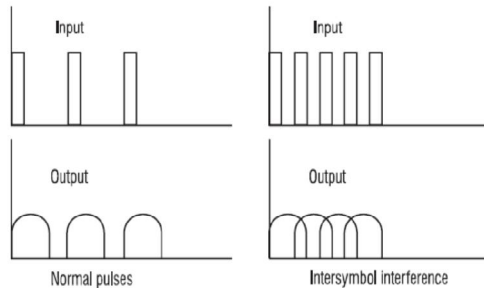
5. Dispersi Pada Serat Optik

Dispersi adalah pelebaran pulsa yang terjadi ketika sinyal merambat melalui sepanjang serat optik yang disebabkan oleh keterbatasan material dan efek linear seperti polarisasi, material dan lainnya seperti pada Gambar 2. Pulsa *output* mempunyai lebar pulsa lebih besar dari lebar pulsa input. Dispersi suatu serat optik dinyatakan sebagai pelebaran pulsa per satuan panjang (ps/nm.km) [2].



Gambar 2. Peristiwa Pelebaran Pulsa Akibat Dispersi

Pengaruh dispersi pada kinerja dari sistem transmisi fiber optik dikenal dengan *intersymbol interference* (ISI). *Intersymbol interference* terjadi ketika pelebaran pulsa yang diakibatkan oleh dispersi menyebabkan pulsa *output* pada sistem menjadi *overlap* dan membuatnya tidak terdeteksi. Gambar 3 memperlihatkan keadaan ISI [2].



Gambar 3. *Intersymbol Interference* (ISI)

Secara garis besar dispersi yang terjadi pada serat optik ada dua jenis yaitu [7] :

1. Dispersi Intermodal

Dispersi intermodal adalah pelebaran pulsa sebagai akibat dari perbedaan *delay* propagasi antara satu *mode* dengan *mode* penjalaran lainnya. Dimana untuk menempuh panjang serat yang sama, sinar yang bermodus lebih tinggi akan lebih lambat dibandingkan dengan sinar yang bermodus lebih rendah, sehingga terjadi pelebaran pulsa. Gangguan ini dapat dihindari dengan menggunakan serat optik *single mode*.

2. Dispersi Intramodal atau Dispersi Kromatik

Dispersi yang terjadi pada serat optik *single mode* hanya dispersi intramodal (dispersi kromatik). Dispersi intramodal adalah pelebaran pulsa yang terjadi dalam suatu serat optik *single mode*. Sinar yang berasal dari LED dan Laser Dioda mengandung berbagai panjang gelombang, dan dikatakan memiliki suatu pita panjang gelombang atau lebar spektral, dimana bila semakin besar lebar spektral sinar yang memasuki serat optik, maka akan semakin banyak macam panjang gelombang dan semakin besar pelebaran pulsa yang terjadi [1].

Dua faktor utama penyebab dispersi kromatik yaitu [1]:

a. Dispersi material

Dispersi yang terjadi karena diakibatkan adanya variasi indeks bias sebagai fungsi yang tidak linier dari panjang gelombang.

b. Dispersi Pandu Gelombang

Dispersi terjadi dalam satu *mode* terdiri dari beberapa panjang gelombang yang berbeda dari spektral sumber cahaya yang merambat sepanjang serat.

Menurut CCITT dispersi kromatik $D(\lambda)$ pada serat optik *single mode* adalah representasi dari turunan *delay* (*derivative of delay*) atau kelengkungan kurva *delay* (*delay curve*) pada panjang gelombang, dengan rumus seperti pada Persamaan (1) [2].

$$\text{Dispersion} = D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right] \quad (1)$$

Dimana :

$D(\lambda)$ = Dispersi kromatik pada λ (ps/km.nm)

λ = Panjang gelombang (nm)

λ_0 = Nilai λ pada saat dispersi = 0 (nm)

S_0 = Nilai *Slope* pada saat dispersi = 0 (ps/km.nm²)

Untuk menghitung nilai total dispersi (*Total Chromatic Dispersion*) yakni representasi *time spreading* atau *pulse spreading* akibat fenomena *chromatic dispersion*, dengan rumus seperti Persamaan (2) [2].

$$D_t = D(\lambda) \times \sigma_\lambda \times L \quad (2)$$

Keterangan :

D_t = Total Dispersi Kromatik (ps)

$D(\lambda)$ = *Chromatic Dispersion Coefficient* pada

λ = 1550 nm (ps/nm.km)

σ_λ = *Laser Spectral Width* (nm)

L = Jarak (km)

Rise time budget merupakan metoda untuk menentukan batasan dispersi maksimum pada saluran transmisi, sehingga perhitungan ini perlu dilakukan untuk mengetahui nilai laju bit maksimum agar mendukung jarak tempuh dengan *Rise Time Budget* [8]. Tujuan dari perhitungan *Rise Time Budget* adalah untuk menganalisis kerja sistem secara keseluruhan dan memenuhi kapasitas kanal yang diinginkan.

Secara umum, degradasi total waktu transisi dari *link* digital tidak melebihi 70 % dari satu periode bit NRZ (*Non-Return-to-Zero*) atau 35 % dari satu periode bit data RZ (*Return-to-Zero*). Jika nilai $t_{\text{sis}}(\text{rise time budget}) \leq$ nilai $t_r(\text{bit rate sinyal NRZ atau RZ})$ maka dapat disimpulkan bahwa sistem tersebut layak (memenuhi persyaratan anggaran *rise time budget*). Nilai $t_r(\text{bit rate})$ untuk sinyal NRZ dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (3) [8].

$$t_r = \frac{0.7}{BR} \quad (3)$$

Untuk *Rise time budget* (t_{sis}) sistem secara keseluruhan dihitung dengan Persamaan (4) [8].

$$t_{\text{sist}} = \sqrt{t_{\text{tx}}^2 + t_{\text{rx}}^2 + D_t^2} \quad (4)$$

Dimana :

t_{sist} = Rise Time Budget (ps)

t_{tx} = Rise Time Transmitter (ps)

t_{rx} = Rise Time Receiver (ps)

D_t = Total Kromatik Dispersion (ps)

Sebagai acuan data teknis yang digunakan dalam menghitung *rise time budget* dapat di lihat pada Tabel 1 [7].

Tabel 1. Parameter Pengukuran Rise Time Budget Pada PT. Telkom

Data Parameter Link MDC – PUBA dan PUBA BDB	
Bit Rate (BR)	10 Gbps
Panjang Gelombang (λ)	1550 nm
Rise time transmitter (t_{tx})	35 ps
Rise time receiver (t_{rx})	35 ps
Lebar spektral (σ_λ)	0,1 nm

Untuk mengatasi dispersi diperlukan *dispersion power penalty*. *Dispersion power penalty* didefinisikan sebagai kenaikan daya input yang dibutuhkan receiver untuk mengeliminasi degradasi pada BER (*bit error rate*) karena efek dispersi serat optik. *Dispersion power penalty* memiliki nilai standar yaitu tidak boleh melebihi dua *decibel* (2 dB) [2].

Untuk dapat menghitung besarnya *dispersion power penalty*, harus diketahui terlebih dahulu besarnya dispersi yang terjadi. Dispersi yang terjadi ditentukan oleh panjang gelombang yang digunakan. Setelah diketahui besarnya dispersi yang terjadi langkah selanjutnya adalah menghitung *pulse width* (τ) dengan Persamaan (5) [9].

$$\tau = \sigma_\lambda \cdot D(\lambda) \quad (5)$$

Dimana : τ = Pulsa Width (ps/km)

σ_λ = spectral width (nm)

$D(\lambda)$ = Dispersi kromatik (ps/km.nm)

Dengan didapat besar *pulse width* (τ) pada serat optik tersebut maka dapat dicari besarnya *fiber bandwidth* (f) dalam ps/Km, seperti pada Persamaan (6) [9].

$$f = \frac{\ln 4}{\tau \cdot \pi} \quad (6)$$

Langkah selanjutnya yaitu menghitung *fiber bandwidth-distance* (F_F) dengan membagi *fiber bandwidth* (f) yang telah didapat dengan panjang serat optik yang digunakan (L), seperti pada Persamaan (7) [9].

$$F_F = \frac{f}{L} \quad (7)$$

Dimana :

F_F = fiber bandwidth-distance (ps/km²)

f = fiber bandwidth (ps/km)

L = panjang serat optik (km)

Salah satu faktor yang sangat mempengaruhi besarnya *dispersion power penalty* adalah *bit rate* (BR) yang diperoleh dari spesifikasi serat optik yang digunakan pada sistem (dalam Gbps). Hal tersebut terlihat dalam mencari *length efficiency* atau η_L dari fiber, dimana *length efficiency* merupakan pembagian kuadrat dari *fiber bandwidth-distance* dengan *bit rate* yang sama dengan 10 Gbps dikali koefisien c yang sama dengan 0.5, seperti pada Persamaan (5.8) [9].

$$\eta_L = c \times \left(\frac{F_F}{BR}\right)^2 \quad (8)$$

Setelah didapat *length efficiency* baru dapat dihitung besarnya *dispersion power penalty* dengan Persamaan (9) [9].

$$\text{dBL} = 10 \log(1 + \eta_L) \quad (9)$$

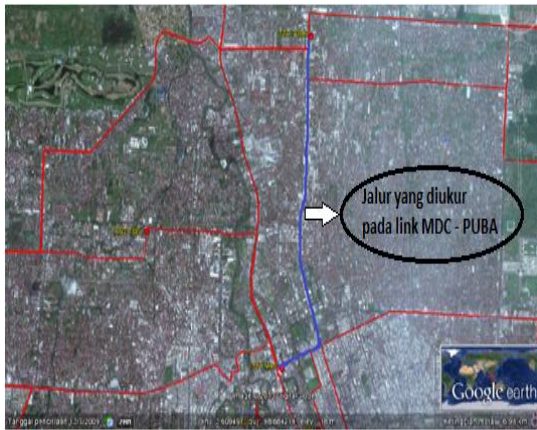
Dimana : η_L = length efficiency

dBL = dispersion power penalty dengan satuan *decibel* (dB).

6. Jalur Pengukuran

Adapun jalur pengukuran dalam analisis dispersi yang dilakukan pada tulisan ini yaitu dari link STO MDC (Medan Centrum) sampai STO PUBA (Pulo Brayon) dengan jarak 4,96994 km dan link STO PUBA (Pulau Brayon) sampai STO BDB (Bandar Baru) dengan jarak 60,50397 km. Pengukuran ini menggunakan alat ukur JDSU MTS-8000 yaitu merupakan alat ukur yang berfungsi untuk mengukur dispersi kromatik dengan bahan kemasan anti statis secara menghubungkan modul ke unit dasar secara *link point to point* [10].

Cakupan wilayah area yang dilakukan pada penelitian dengan link MDC – PUBA tampak pada Gambar 4 dimana garis berwarna biru menunjukkan jalur yang dilalui oleh serat optik pada pengukuran dispersi kromatik.



Gambar 4. Jalur Pengukuran Dispersi MDC-PUBA [7]

7. Hasil dan Pembahasan

7.1. Dispersi Kromatik

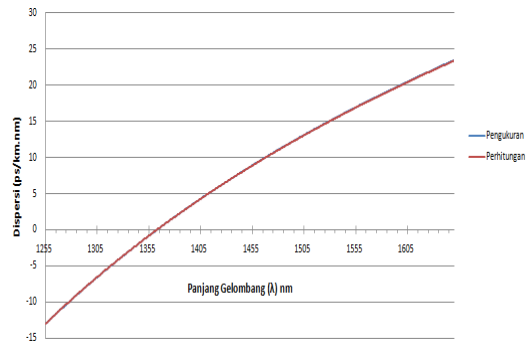
Analisis dispersi link MDC-PUBA dan link PUBA-BDB merupakan kabel *single mode* jenis *non-zero-dispersion-shifted* (NZDS) yang menggunakan kabel *single mode* standar ITU.T G.655 dengan panjang gelombang 1255 – 1650 nm.

Nilai hasil perhitungan dispersi kromatik untuk link MDC – PUBA dengan panjang link 4,96994 km berdasarkan panjang gelombang dengan menggunakan Persamaan (1) dapat dilihat pada Tabel 2 dimana nilai S_0 yang digunakan adalah 0,106 ps/km.nm² dan λ_0 adalah 1362,71 nm.

Tabel 2. Perbandingan Nilai Dispersi Berdasarkan Perhitungan Dan Pengukuran Pada Link MDC - PUBA

Panjang Gelombang (λ) (nm)	Dispersi Kromatik (ps/km.nm)	
	Perhitungan	Pengukuran
1255	-14,602	-14,702
1310	-9,121	-9,184
1550	8,158	8,214
1650	13,334	13,426

Dari Tabel 2 diperoleh grafik perhitungan dan pengukuran dispersi kromatik seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Dispersi Kromatik Link MDC – PUBA

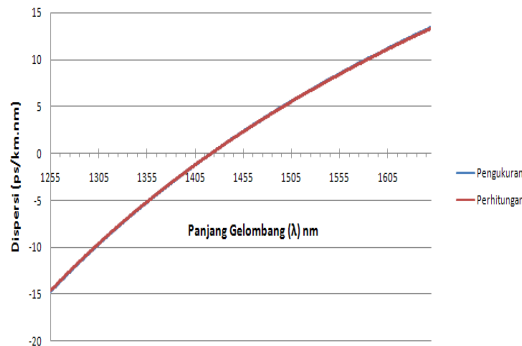
Dari perhitungan yang telah dilakukan diperoleh bahwa untuk dispersi kromatik dengan panjang gelombang 1550 nm pada link Medan Centrum – Pulo Brayan menunjukkan nilai 16,535 ps/km.nm sedangkan pada data hasil pengukuran adalah 16,589 ps/km.nm sehingga diperoleh selisih 0,054. Selisih ini dapat diabaikan karena hasilnya mendekati nilai dari data hasil pengukuran. Nilai dispersi kromatik sangat dipengaruhi oleh panjang gelombang, semakin besar nilai panjang gelombang maka akan semakin besar nilai dispersi kromatik.

Nilai hasil perhitungan dispersi kromatik untuk link PUBA - BDB dengan panjang link 60,50397 km berdasarkan panjang gelombang dengan menggunakan Persamaan (1) dapat dilihat pada Tabel 3 dimana nilai S_0 yang digunakan adalah 0,027 ps/km.nm² dan λ_0 adalah 1421,6 nm.

Tabel 3. Perbandingan Nilai Dispersi Berdasarkan Perhitungan Dan Pengukuran Pada Link PUBA - BDB

Panjang Gelombang (λ) (nm)	Dispersi Kromatik (ps/km.nm)	
	Perhitungan	Pengukuran
1255	-12,973	-13,014
1310	-5,933	-5,952
1550	16,535	16,589
1650	23,382	23,457

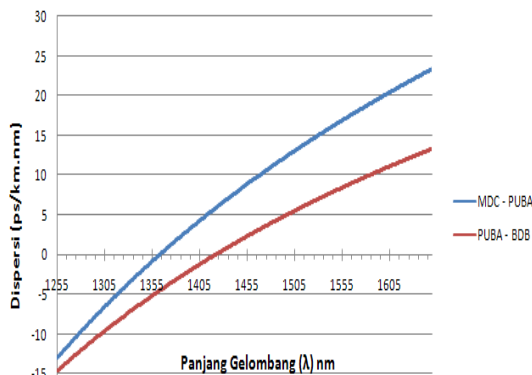
Dari Tabel 3 diperoleh grafik perhitungan dan pengukuran dispersi kromatik pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Dispersi Kromatik Link PUBA – BDB

Dengan Persamaan (1) pada link Pulo Brayan – Bandar Baru diperoleh nilai dispersi kromatik dengan panjang gelombang 1550 nm adalah 8,158 ps/km.nm sedangkan pada data hasil pengukuran adalah 8,214 ps/km.nm sehingga diperoleh selisih 0,056. Selisih ini dapat diabaikan karena hasilnya mendekati nilai dari data hasil pengukuran. Nilai dispersi kromatik sangat dipengaruhi oleh panjang gelombang, semakin besar nilai panjang gelombang maka akan semakin besar nilai dispersi kromatik.

Dari data hasil perhitungan dispersi kromatik pada Tabel 2 dan Tabel 3 diperoleh grafik perbandingan antara nilai dispersi kromatik link MDC – PUBA dan link PUBA – BDB yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Antara Perhitungan Dispersi Kromatik Pada Link MDC – PUBA dan Link PUBA – BDB

Dari data hasil perhitungan diperoleh bahwa nilai dispersi kromatik pada link MDC – PUBA lebih besar dari pada link PUBA – BDB. Hal ini terjadi karena letak lokasi pengkabelan yang dekat perkotaan sehingga pengaruh

bending lebih besar yang mengakibatkan nilai dispersi kromatiknya lebih besar.

7.2. Rise Time Budget

Untuk mendapatkan nilai *rise time budget* harus diketahui terlebih dahulu besar total dispersi. Untuk menghitung nilai dispersi total digunakan rumus pada Persamaan (2), dengan *Laser Spectral Width* 0,1 nm, sehingga diperoleh nilai dispersi total pada link MDC – PUBA adalah 8,2177 ps dan link PUBA – BDB adalah 49,360 ps.

Nilai Bit Rate sinyal NRZ (t_r) pada sistem adalah 70 ps yang dihitung dengan menggunakan Persamaan (3).

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan Persamaan (4) maka diperoleh nilai batasan dispersi maksimum jaringan transmisi yang digunakan pada link Medan Centrum – Pulo Brayan adalah 50,174 ps dan pada link Pulo Brayan – Bandar Baru adalah 69,90 ps. Hasil ini masih memenuhi syarat ≤ 70 ps artinya adalah dispersi yang ada pada sistem tersebut masih dalam batas normal yang berarti tidak mengganggu kinerja sistem.

7.3. Dispersion Power Penalty

Dengan menggunakan Persamaan (9) diperoleh bahwa link MDC – PUBA untuk panjang gelombang 1550 nm mengandung *dispersion power penalty* (P_d) yakni $6,266 \times 10^{-5}$ dB dan pada link PUBA – BDB adalah $1,735 \times 10^{-6}$ dB.

Secara keseluruhan *penalty* terbesar terjadi ketika jarak $L = 4,94994$ km dan terendah yakni berjarak $L = 60,50397$ km. Meskipun demikian, kedua link ini dengan $\lambda = 1550$ nm masih memenuhi nilai standar *dispersion power penalty* yaitu bahwa *penalty* maksimal berada dalam keadaan $P_d < 2$ dB.

8. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari tulisan ini adalah sebagai berikut :

1. Selisih nilai hasil pengukuran dan perhitungan dispersi kromatik untuk link MDC – PUBA dan link PUBA – BDB dapat diabaikan karena sangat kecil dan nilai dispersi kromatik sangat dipengaruhi oleh besarnya panjang gelombang.

2. Hasil perhitungan *rise time budget* dengan $\lambda=1550$ nm untuk link MDC – PUBA yaitu 50,174 ps dan link PUBA – BDB yaitu 69,90 ps. Hasil dari kedua link ini masih memenuhi syarat ≤ 70 ps artinya adalah dispersi yang ada pada kedua sistem tersebut masih dalam batas normal yang berarti tidak mengganggu kinerja dari sistem.
3. Secara keseluruhan *dispersio power penalty* terbesar terjadi pada jarak 4,94994 km dengan dispersi kromatik 16,535 ps/km.nm dan terendah yakni berjarak 60,50397 km dengan dispersi kromatik 8,158 ps/km.nm. Jika nilai dispersi besar maka *dispersion power penalty* yang dibutuhkan semakin besar. Meskipun demikian pada kedua link ini dengan $\lambda = 1550$ nm masih memenuhi nilai standar *dispersion power penalty* yaitu $P_d < 2$ dB.

9. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Alm. H. Gultom dan T. br Purba selaku orang tua penulis, Ir. M. Zulfin MT selaku dosen pembimbing, Naemah Mubarakah ST.MT, Ali Hanafiah serta Maksun Pinem ST.MT yang sudah membimbing penulis dalam menyelesaikan jurnal ini dan semua pihak yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu.

10. Daftar Pustaka

- [1]. Abdi, Muhammad. 2012. “Komunikasi Serat Optik”.
- [2]. Perdana, A., Hambali, A., Uripno, B. 2012. Jurnal: “Analisis *Dispersion Power Penalty* Pada Implementasi Teknologi *Gigabit Passive Optical Network* (GPON). Institut Teknologi Telkom. Bandung.
- [3]. Agrawal, G. 2002. “Serat Optik”.
- [4]. Putu, Dewa. 2009. “Fiber Optik Pada Jaringan Komputer”.
- [5]. Nugraha, Andi. 2006. “Serat Optik”. Yogyakarta. Penerbit ANDI.
- [6]. Setyawan, Iman. 2010. Tugas Akhir: “Perencanaan Dan Analisis Pembangunan IBC Untuk Frekuensi 2G Dan 3G Pada Operator XL Di IT Telkom Menggunakan Jaringan Serat Optik”.
- [7]. Divisi Access Area. 2011. “Pengukuran Dispersi Kromatik”. Medan. PT.TELKOM Indonesia.
- [8]. Praja, Fajar Guntara., dkk. 2013. Jurnal: “Analisis Perhitungan dan Pengukuran

Transmisi Jaringan Serat Optik Telkomsel Regional Jawa Tengah”. Institut Teknologi Nasional: Bandung.

- [9]. Farrel, Gerard. 2005. “*Introduction to System Planning and Power Budgeting*”. Dublin Institute of Technology : Dublin, Ireland.
- [10]. Acterna. 2003. “JDSU MTS-8000”.