

ANALISIS PENGGUNAAN SERAT SINGLE MODE UNTUK PENGIRIMAN HDTV MENGGUNAKAN TEKNIK SCM

¹Muchlis, ²Sugito, ³Budi Prasetya

¹²³ Fakultas Elektro dan Komunikasi, Institut Teknologi Telkom

Jln. Telekomunikasi, Terusan Buah Batu Bandung 40257 Indonesia

¹muchlis@students.ittelkom.ac.id, ²sio@ittelkom.ac.id, ³bpy@ittelkom.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi untuk pengiriman data, suara, dan video antara satu terminal dengan terminal lainnya, semakin berkembang sehingga diperlukan media transmisi yang mampu menyalurkan data, suara dan video dengan bitrate yang tinggi yaitu serat. Serat optik single mode mempunyai bandwidth yang lebih lebar daripada serat optik multimode. Untuk menghemat distance product bandwidth pada fiber optik single product, digunakan teknik Subcarrier Multiplexing (SCM).

SCM adalah suatu teknik yang dapat memodulasi sinyal data, suara dan video dari frekuensi yang rendah ke frekuensi carrier yang lebih tinggi. Sinyal subcarrier f_i dijumlahkan pada combiner power microwe terlebih dahulu. Sinyal dalam besaran elektrik tersebut akan dimodulasi ke frekuensi optik. Sehingga teknik ini dapat membuat serat single mode menyalurkan data dengan rate yang lebih tinggi.

Salah satu teknologi yang dapat menggunakan teknologi SCM adalah High Definition Television (HDTV). Pada HDTV, kualitas video yang dikirimkan lebih bagus jika dibandingkan dengan dengan televisi analog. HDTV memiliki bitrate 1,5 Gbit/s, sedangkan jika dilakukan kompres, bitrate akan menjadi 19,3 Mbit/s. Untuk mentransmisikan HDTV, bisa dipakai teknologi jaringan Hybrid Fiber Coax (HFC), yang merupakan teknologi gabungan antara media transmisi serat optik pada sisi Head End ke distribution point dengan media transmisi koaksial pada sisi distribution point ke rumah pelanggan. Parameter yang akan dianalisa pada teknik SCM ini untuk transmisi HDTV adalah BER dan Q-Value, dengan mempertimbangkan pengaruh Composite Second Order (CSO) dan Composite Triple Beat (CTB) pada modulator eksternal.

Kata kunci:

optik single mode, Subcarrier Multiplexing, High Definition Television

1. Pendahuluan

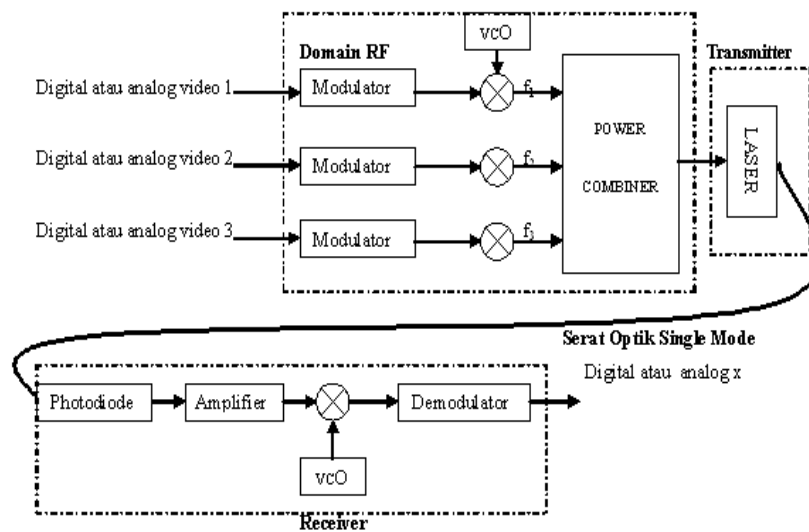
Komunikasi pengiriman data, suara dan video modern, membutuhkan *bandwidth* yang sangat lebar. Banyak media transmisi yang dapat digunakan untuk transmisi data, suara dan video tersebut. Serat optik adalah salah satu media transmisi yang dapat digunakan untuk transmisi data suara dan video. Serat optik single mode memiliki lebar *bandwidth* yang lebih besar jika dibandingkan dengan serat multi mode. Serat optik single mode memiliki dispersi serat yang lebih kecil daripada serat optik multi mode.

Dengan menggunakan teknik SCM, beberapa kanal masukan *High Definition Television* (HDTV) akan dimodulasi terlebih dahulu dalam domain RF. Hasil modulasi, sinyal subcarrier f_i dijumlahkan pada *combiner power microwe* terlebih dahulu. Sinyal dalam besaran elektrik tersebut akan dimodulasi ke frekuensi optik. Teknik SCM dapat

mengatasi keterbatasan bandwidth yang dimiliki oleh perangkat elektronik *microwave*. Sejumlah kanal masukan dari perangkat *microwave* dapat ditransmisikan secara bersamaan pada sistem jaringan SCM. Sehingga teknik ini dapat membuat serat single mode menyalurkan data, suara dan video dengan rate yang lebih tinggi.

2.1. SCM (Subcarrier Multiplexing)

SCM adalah suatu skema dimana signal yang banyak di multiplex dalam domain RF sebagai subcarrier untuk memodulasikan sebuah carrier optik. Hasilnya pada spektrum optik, akan terdapat carrier optik yang asli dan tones pada dua sisi yang terletak pada $f_0 \pm f_s$ dimana f_0 adalah frekuensi dari carrier optik dan f_s adalah frekuensi dari RF subcarrier. Apabila subcarrier tersebut kemudian dimodulasikan dengan data, video, trafik telepon, maka akan menghasilkan *sidebands* yang terpusat pada $f_0 + f_s$ dan $f_0 - f_s$. Beberapa kanal dapat digabungkan (multiplexing) kedalam carrier optik yang sama. Keuntungan signifikan dari SCM adalah peralatan *microwave* yang lebih berkembang dari pada peralatan optik, kestabilan *microwave* osilator dan frekuensi selektif dari filter microwave lebih baik dari pada yang lainnya sekaligus modulasi terbaru bisa di aplikasikan dengan mudah.



Gambar 1. Gambaran umum operasi sistem SCM

2.2. Modulator Optik SCM

Ada 2 macam modulator sistem komunikasi optik, yaitu modulator intern dan modulator ekstern. Modulator intern memodulasi cahaya di dalam perangkat sumber cahayanya, sedangkan modulator ekstern memodulasi cahaya di luar sumber cahaya.

3 jenis modulator ekstern yaitu modulator elektro optik, modulator magneto optik, dan modulator akusto optik. Salah satu contoh dari modulator elektro optik adalah modulator Mach-Zender. Modulator Mach-Zender sering digunakan oleh sistem manufaktur karena memiliki karakteristik insertion loss yang kecil dan memiliki karakteristik on/of.

Modulator Mach-Zender merupakan perangkat optik yang bekerja dengan cara mempengaruhi berkas cahaya yang melintas dengan menggunakan medan elektromagnetik tertentu yang dihasilkan oleh pulsa-pulsa elektrik, dengan kata lain modulator ini bekerja berdasarkan prinsip perpaduan 2 berkas cahaya koheren yang menghasilkan pola garis-garis cahaya (fringe) sesuai dengan beda fasa antara 2 berkas cahaya tersebut.

2.3 Serat Single mode

2.3.1 Karakteristik Serat Single Mode

Tabel 1 karakteristik serat single mode

Karakteristik	Detail	Nilai
Parameter geometri	Optical core	9 μm
	Optical Cladding	125 μm +/- 1 μm
	Coating	245 μm +/- 10 μm
Redaman	$\lambda = 1310 \text{ nm}$	0,36 db/km
	$\lambda = 1550 \text{ nm}$	0,22 db/km
Maksimum disperse	$\lambda = 1285-1330 \text{ nm}$	3,5 ps/(nm x km)
	$\lambda = 1550 \text{ nm}$	18 ps/(nm x km)

Keuntungan dari pemakaian serat single mode adalah terhindarnya dari *signal disperse* yang disebabkan oleh perbedaan delay dari banyak modus seperti pada multimode. Serat single mode cocok untuk penggunaan transmisi jarak jauh.

2.3.2 Karakteristik Transmisi Serat Single Mode

Beberapa karakteristik Transmisi serat single mode

1. Redaman

Redaman pada serat optik single mode per satuan panjang adalah:

$$\alpha = 10 \log \frac{P_i}{P_o} \quad [\text{dB}]$$

2. Dispersi

Serat single mode hanya terpengaruh oleh dispersi intramodal. Dispersi intramodal terbagi atas dispersi material dan dispersi bumbung gelombang. Sumber optik tidak hanya mengemisikan satu frekuensi melalui serat optik, tetapi kumpulan dari banyak

frekuensi, yang kemudian dapat menghasilkan delay propagasi dari komponen spektral yang berbeda pada pentransmisi sinyal, sehingga menyebabkan pelebaran pulsa.

Dispersi dapat diklasifikasikan menjadi

1. **Dispersi material**

Besarnya pelebaran pulsa akibat dispersi material adalah :

$$\sigma_{mat} = \frac{d\tau_{mat}}{d\lambda} \sigma_\lambda = -\frac{L}{c} \lambda \frac{d^2n}{d\lambda^2} \sigma_\lambda = D_{mat}(\lambda) L \sigma_\lambda$$

2. **Dispersi Bubungan Gelombang**

Dispersi bubungan gelombang terjadi karena tidak semua cahaya yang diterima detektor melalui inti, tetapi sebagian melalui kulit. Biasanya dispersi ini dapat diabaikan pada serat multi mode dan serat single mode yang bekerja pada panjang gelombang 1 μm , tetapi tidak dapat diabaikan pada serat single mode yang bekerja pada panjang gelombang disekitar 1.27 μm

Besarnya pelebaran pulsa akibat dispersi bubungan gelombang adalah :

$$\sigma_{wg} = \sigma_\lambda \frac{d\tau_{wg}}{d\lambda} = \sigma_\lambda L D_{wg}(\lambda)$$

2.4 Receiver

Photodiode yang digunakan adalah *Avalanche Photodiodes* (APD), karena APD memiliki sensitivitas penerimaan yang lebih tinggi di bandingkan p-i-n *photodiode*. Hasil keluaran dari *Avalanche Photodiodes* (APD) berupa besaran elektrik, kemudian sinyal elektrik akan dikuatkan oleh *amplifier*. Setelah dikuatkan oleh *amplifier*, sinyal elektrik akan dimasukkan ke dalam *mixer* yang frekuensinya berasal dari VCO untuk mendapatkan sinyal kanal tertentu. Sinyal kanal tersebut, kemudian akan didemultiplex dengan format BPSK untuk mendapatkan sinyal HDTV yang diinginkan.

2.5 Video

Sinyal video perlu dikodekan untuk mengubah suatu gambar, biasanya pada warna juga termasuk suara. Karena gambar telah berubah dalam bentuk kode-kode, pentransmisiannya harus dilakukan secara terus-menerus, sehingga manusia dapat melihat perubahannya. Pengiriman sinyal video lebih banyak membutuhkan *bandwidth* dan lebih kompleks jika dibandingkan dengan pengiriman sinyal suara.

2.5.1 Syarat Transmisi Video

Transmisi video memerlukan kapasitas yang lebih besar jika dibandingkan dengan transmisi teks atau transmisi suara. *Bandwidth* yang diperlukan untuk mentransmisikan *High Definition Television* (HDTV) yang belum di kompres adalah 1,5 Gbit/s,

sedangkan setelah dikompres, bandwidth yang dibutuhkan adalah 19,3 Mbit/s. *High Definition Television* (HDTV) merupakan standar baru yang telah dikembangkan untuk televisi digital. *High Definition Television* (HDTV) memiliki resolusi layar yang tinggi untuk layar yang lebar.

2.5.2 Arsitektur Umum *Hybrid Fiber Coax* (HFC)

Teknologi *Hybrid Fiber Coax* atau biasa disebut dengan HFC merupakan salah satu alternatif jenis teknologi jaringan akses yaitu, *Full Service Access Network* menggunakan media fisik (wireline), selain itu juga ada *Hybrid Fiber Cooper* dan *Full Fiber*. *Full Service Access Network* merupakan jaringan akses yang dapat memberikan layanan berbasis suara, data, dan video melalui suatu platform jaringan akses yang sama. Sedangkan jaringan akses sendiri, didefinisikan sebagai jaringan yang menghubungkan antara *Service Network Interface* (SNI) dengan *User Network Interface* (UNI). *Hybrid Fiber Coax* merupakan salah satu teknologi jaringan akses yang dibentuk atas dasar kombinasi jaringan optik dan koaksial.

3. Perancangan Sistem

3.1 Bagian sistem pengirim

Ada N masukan dari kanal HDTV dengan *bit rate* masing-masing masukan adalah 19,3 Mbit/s. Setiap sinyal IF akan dimodulasikan dengan *modulator* digital kemudian masing-masing kanal frekuensinya akan dibedakan dengan menggunakan *mixer*. Semua kanal dalam domain RF akan digabungkan dengan RF *multiplexer* yang kemudian akan dimodulasikan dengan *modulator* Mach Zender.

Laser yang digunakan pada sistem ini adalah *distributed-feedback* (DFB) laser. Panjang gelombang khusus dapat dipilih oleh pembuat laser dengan memilih secara tepat *reflector reflector*. DFB laser digunakan secara khusus pada sistem *High-speed transmission*. DFB laser dapat beroperasi pada panjang gelombang 1550 nm

Tabel 2 Parameter DFB laser

Parameter	Nilai Parameter
Panjang gelombang	1550 nm
Arus threshold	11 mA
Line width	1 nm
Daya output	2 mW

Rise time	0.125 ns
-----------	----------

4. Modulator Mach Zender

Setelah *subcarrier* gelombang mikro dihasilkan, kemudian akan dimodulasikan kedalam domain optik. Dalam penelitian ini akan digunakan *modulator* Mach Zender, karena *modulator* Mach Zender dapat menghasilkan *optical single Side Band* (OSSB). Keuntungan dari OSSB ini adalah adanya efisiensi *power* spektral. Keluaran dari *modulator* Mach Zender adalah :

$$E(t) = \frac{E_i}{2} \left\{ J_0\left(\frac{\pi A}{V_\pi}\right) [\cos(\omega_c t) - \sin(\omega_c t)] \right\} - E_i \left\{ J_0\left(\frac{\pi A}{V_\pi}\right) x(t) \cos\left(\omega_c + \sum_{d=1}^{d=N} \omega_d\right) t \right\}$$

E_i : input optik

ω_c : $2\pi f_c$ frekuensi *carrier* dari gelombang optik

ω_d : frekuensi RF

V_π : Tegangan switch dari *modulator* Mach Zender

Bagian pertama dari persamaan diatas adalah bagian dari *carrier* optik dan bagian kedua adalah bagian dari data digital

Respon tegangan dari *modulator* Mach Zender dapat ditulis sebagai berikut :

$$P_{out} = (P_{in} \cdot L_a) \cdot \cos^2 \left[\frac{\pi V(t) - \theta}{2} \right]$$

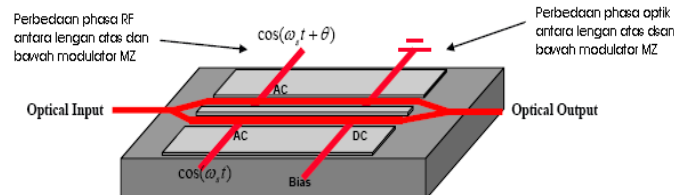
P_{in} : Daya rata-rata input optik

L_a : Loss sebesar 3 dB dari *waveguide* pada combiner sambungan Y

θ : Pergeseran fasa bias antara 2 lengan

$$\Delta\beta L : (\beta_1 - \beta_2)L = \frac{\pi V(t)}{V_\pi}$$

Pada skema modulasi OSSB pergeseran fasa sebesar 90° diterapkan pada lengan kedua dari *modulator* Mach Zender.



Gambar 2. implementasi *single sideband* menggunakan *modulator* mach Zender

Gambar diatas menunjukkan implementasi dari *single sideband* sinyal optik menggunakan *modulator* mach Zender. Sebuah 90° *Hybrid* digunakan untuk membagi

sinyal input kedalam dua output dengan perbedaan fasa 90° pada masing-masingnya. Dua output tadi dikirimkan ke dua lengan dari *modulator* Mach Zender yang mempunyai bandwidth 20 GHz. Kemudian sinyal ini dirubah dari domain gelombang mikro menjadi domain gelombang optik.

5. Power amplfier EFDA dan carrier suppressing

3.2 Kanal Transmisi

Pada serat *single mode*, dispersi *intramodal* yang dipengaruhi oleh dispersi material dan dispersi *waveguide* akan dipertimbangkan. Kedua dispersi ini akan mempengaruhi dari *rise time* serat optik. Dengan mengetahui *rise time* serat optik, yang kemudian perhitungannya akan digabungkan dengan *rise time* komponen lainnya, akan diketahui *bit rate* maksimum yang dapat dilewatkan dalam sistem transmisi optik. Kemudian akan disesuaikan dengan *line code* yang digunakan dalam serat optik

Tabel 3 Parameter Serat Single Mode

Parameter	Nilai Parameter
Jenis SMF	G652B
Panjang gelombang	1550 nm
Bandwidth	10 GHz.km
Panjang Transmisi	15 km
Maksimum disperse material	18 ps/(nm x km)
Maksimum disperse waveguide	1,3 ps/(nm x km)
Redaman	0,2 db/km
Redaman splitter 8-way	10,3 dB
Gain EFDA	17 dB
Noise Figure	5 dB
Margin sistem	6 dB
Redaman splicer	0,1 dB/buah
Redaman konektor	0,5 dB/buah

3.3 Bagian sistem penerima

Pada bagian penerima, sinyal optik yang masuk pada *photodiode* APD akan dideteksi. Selanjutnya sinyal optik akan dirubah menjadi sinyal elektrik. Hasil output dari *RF coupler* berupa sinyal *subcarrier* dengan frekuensi RF yang berbeda-beda. Untuk mendapatkan mendapatkan sinyal informasi awal, frekuensi masing-masing *subcarrier* akan digeser menjadi IF.

Simulasi **sistem SCM** dilakukan untuk mendapatkan jumlah *subcarrier* yang optimal yang sesuai dengan nilai standar nilai *Q_value* yang diinginkan.

3.3.1 Penentuan Jumlah Kanal

Pada bagian ini, sejumlah kanal yang dikirim dalam transmisi akan dilihat nilai Q_value yang akan diperoleh pada masing-masing jumlah kanal. Rentang jumlah kanal yang akan diamati dimulai dari jumlah kanal 10 sampai dengan jumlah kanal 100. Nilai Q_value minimal yang akan dijadikan acuan adalah 6. Jenis modulasi yang akan digunakan adalah BPSK, QPSK dan ASK. Besaran modulasi yang akan digunakan akan disesuaikan dengan jumlah kanal dalam sistem transmisi. Dimana besarnya indeks modulasi memenuhi persamaan $(m_k / \sqrt{\zeta}) \leq 1/N$.

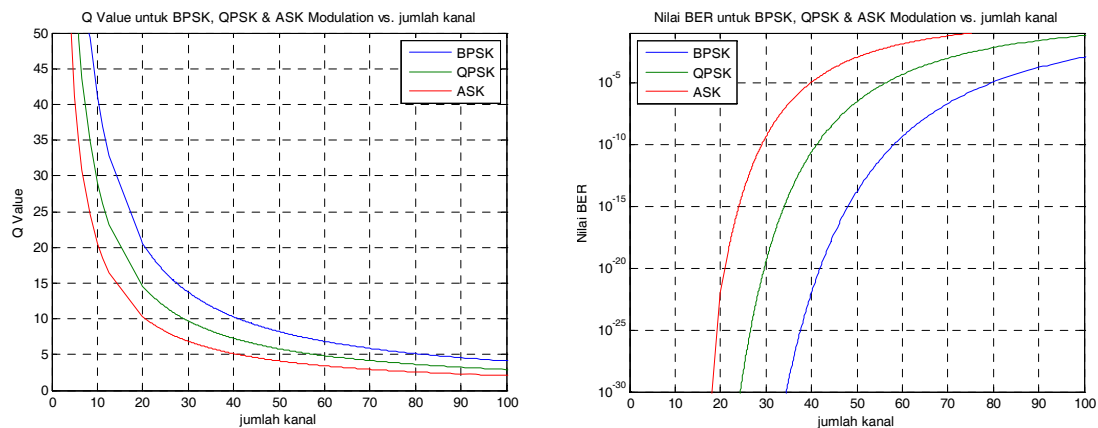
3.3.2 Penggunaan carrier suppressing

Carrier suppressing akan digunakan untuk meningkatkan nilai Q_value pada sistem transmisi. Besarnya peningkatan nilai akan diperoleh dengan membandingkan nilai Q_value saat sistem tidak menggunakan *carrier suppressing* dengan sistem menggunakan *carrier suppressing*. Besarnya konstanta *carrier suppressing* yang digunakan dalam Penelitian ini adalah 0,7.

4. Analisa Performansi Sistem SCM Pada Serat Single Mode

4.1. Perhitungan Nilai Q_Value Dan BER Tanpa Carrier Suppressing

Untuk perhitungan bagian ini, *suppressing* pada daya *carrier* tidak ada. Grafik akan menampilkan nilai Q_Value sebagai fungsi jumlah kanal yang ada dalam sistem transmisi optik.



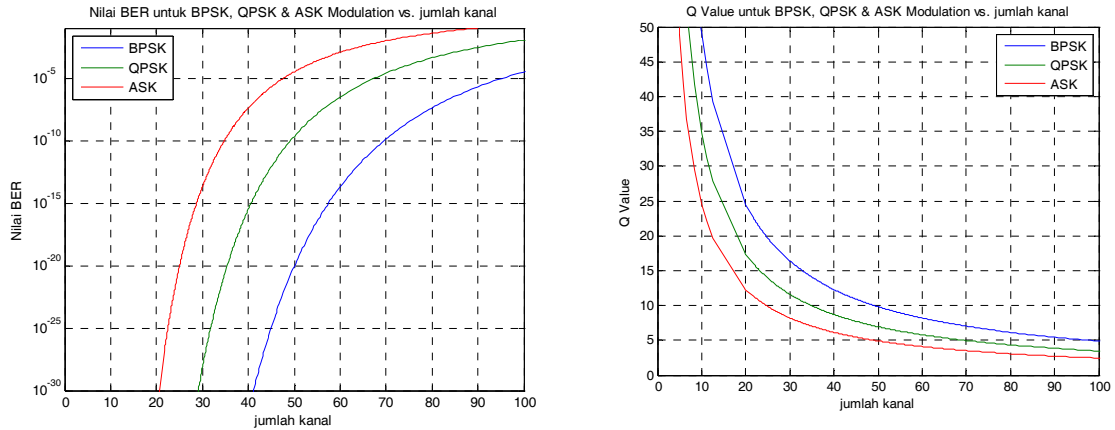
Gambar 3 Nilai Q_Value dan BER tanpa carrier suppressing

Nilai Q_Value menunjukkan dari 3 jenis modulasi digital RF yang berbeda yaitu BPSK, QPSK, ASK. Jika jenis modulasi BPSK yang dipakai dalam sistem, maka jumlah maksimum kanal yang bisa dipakai dalam sistem adalah 68 kanal. Sedangkan

jika yang dipakai adalah sistem modulasi QPSK, jumlah maksimum kanal dalam sistem adalah 48. Untuk jenis modulasi ASK, jumlah maksimum kanal adalah 34.

4.2 Perhitungan Nilai Q_Value Dan BER Dengan Carrier Suppressing

Untuk perhitungan bagian ini, *supressing* pada daya *carrier* akan dilakukan. Besarnya koefisien *carrier supressing* yang akan dilakukan pada sistem adalah 0.7.



Gambar 4 Nilai Q_Value dan BER dengan carrier suppressing

Nilai Q_value mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan sistem tanpa *carrier suppressing* untuk semua jenis modulasi digital IF. *Carrier suppressing* digunakan untuk mendapatkan hasil dengan daya sinyal *subcarrier* lebih besar. Daya *carrier* yang besar tidak banyak membawa informasi. Sehingga dalam sistem transmisi optik harus mempunyai daya yang lebih kecil pada sinyal *carrier* dan daya yang besar pada sinyal *subcarrier*. *Carrier suppressing* akan meningkatkan energi sinyal dan sensitivitas pada bagian penerima.

Pada jumlah kanal 68, jenis modulasi BPSK mempunyai nilai Q_Value 6,0813 jika dalam sistem tidak menggunakan *carrier suppressing*. Nilai Q_Value ini akan meningkat sebesar 1,1869 menjadi 7,2682 jika ada *carrier suppressing* dalam sistem transmisi. Untuk jenis modulasi QPSK mempunyai nilai Q_Value 4,3002 jika tidak menggunakan *carrier suppressing* dalam sistem. Nilai Q_Value ini akan meningkat sebesar 0.8392 menjadi 5.1394 jika ada *carrier suppressing* dalam sistem transmisi. Modulasi ASK nilai Q_Value akan meningkat menjadi 3.0407 dari 3.6341.

5. Kesimpulan

1. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jenis modulasi BPSK lebih baik, karena dapat melewati 68 kanal, untuk QPSK dapat melewati 48 kanal, sedangkan untuk modulasi ASK hanya dapat melewati 34 kanal.

2. Jarak transmisi dalam sistem optik dalam Penelitian ini adalah 15 km, jumlah kanal yang maksimum yang dapat dilewatkan adalah 66 kanal. Jumlah kanal maksimum ini didapat dengan mempertimbangkan nilai Q_Value sistem dan *rise time budget* sistem.
3. Nilai Q_Value sistem sebesar 1,219 untuk jenis modulasi BPSK, sebesar 0,8619 untuk jenis modulasi QPSK, dan sebesar 0.6094 untuk jenis modulasi ASK.

6. Referensi

1. Huang, Renxiang, " *Simulation and Experimental Study of SCM/WDM Optical Systems,*" Thesis pada University of Kansas, Kansas. 2001.
2. Hecth, Jeff, "*Understanding Fiber Optics,*" 5th edition, New Jersey: Pearson Educatio, Inc, 2006.
3. Leung Anthony, "*Performance Analysis of SCM Optical Transmission Link for Fiber-to-the-Home,*" Thesis pada University of Kansas, Kansas.
4. R. Hui, B. Zhu, R. Huang, C. Allen, K. Demarest, D. Richards, "*Subcarrier Multiplexing for High-speed Optical Transmission,*" Journal of Lightwave Technology, vol. 20, no. 3, March 2002.
5. Senior, John M., "*Optical Fiber Communication,*" 2nd edition, Great Britain: Prentice Hall International (UK), Ltd, 1992.

RIWAYAT PENULIS

Muchlis, sekarang alumni STTTelkom /ITTelkom, selama menjadi mahasiswa aktif dalam kegiatan riset di laboratoria Transmisi Telekomunikasi dan Sistem Komunikasi

Sugito, merupakan staf pengajar di STTTelkom, menyelesaikan S2 dari UI bidang Telekomunikasi. Mata kuliah yang pernah diajarkan: Dasar Telekomunikasi, Sistem Komunikasi Satelit, Sistem Komunikasi Optik.



Budi Prasetya, lahir di Purworejo tahun 1975, mengajar di STTTelkom sejak tahun 2001, menyelesaikan S1 tahun 2001 dari STTTelkom dan menyelesaikan S2 tahun 2006 dari ITB, keduanya di bidang Telekomunikasi. Mata kuliah yang pernah diajarkan diantaranya: Antena dan Propagasi, Elektronika Komunikasi, Sistem Komunikasi, Teknik Transmisi, Sistem Komunikasi Seluler. Riset-riset yang telah dan sedang dilakukan: Hardware IF dan RF Processing, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, MIMO (Multiple Input Multiple Output), Perencanaan Sistem Radio Fixed dan Mobile.