



**PENGARUH *FOUR WAVE MIXING* (FWM) DENGAN
PENGUAT *ERBIUM DOPED FIBER AMPLIFIER*
(EDFA) PADA TEKNIK *DENSE WAVELENGTH*
DIVISION MULTIPLEXING (DWDM)**

SKRIPSI

Oleh

**Zendyka Ardy Saputra
NIM 091910201092**

**PROGRAM STUDI STRATA 1
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**



**PENGARUH *FOUR WAVE MIXING* (FWM) DENGAN
PENGUAT *ERBIUM DOPED FIBER AMPLIFIER*
(EDFA) PADA TEKNIK *DENSE WAVELENGTH*
DIVISION MULTIPLEXING (DWDM)**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

oleh

Zendyka Ardy Saputra
NIM 091910201092

**PROGRAM STUDI STRATA 1
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ibunda Ani dan ayahanda Abdul Harief yang tercinta;
2. Bapak Dodi Setiabudi, S.T.,M.T. dan Bapak Catur Suko Sarwono, S.T.,M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing saya menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Singgih dan Farid yang telah membantu proses penyelesaian skripsi saya.
4. Teman-teman kos Brantas XXI, Angga, Alfian, Betha, Deni, Edo, Hafid, Irawan, Restu, dan Yusron.
5. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
6. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember;

MOTO

Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.

(terjemahan Surat *Al-Mujadalah* ayat 11)

Bertaqwalah pada Allah, maka Allah akan mengajarimu.

Sesungguhnya Allah Maha Mengetahui segala sesuatu.

(terjemahan Surat *Al-Baqarah* ayat 282)

Barang siapa keluar untuk mencari ilmu maka dia berada di jalan Allah

(HR. Turmudzi)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Zedyka Ardy Saputra

NIM : 091910201092

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh *Four Wave Mixing* (FWM) dengan Penguat *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA) pada Teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 24 Juli 2017

Yang menyatakan,

Zedyka Ardy Saputra

NIM 091910201092

SKRIPSI

**PENGARUH *FOUR WAVE MIXING* (FWM) DENGAN PENGUAT
ERBIUM DOPED FIBER AMPLIFIER (EDFA) PADA TEKNIK *DENSE*
WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING (DWDM)**

Oleh

Zendyka Ardy Saputra

NIM 091910201092

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dodi Setiabudi, S.T.,M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Catur Suko Sarwono. S.T.,M.Si

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh *Four Wave Mixing* (FWM) dengan Penguat *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA) pada Teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM)” karya Zendyka Ardy Saputra telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Rabu, 19 Juli 2017

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji:

Ketua

Dodi Setiabudi, S.T., M.T.
NIP 198405312008121004

Anggota II

Widya Cahyadi, S.T., M.T.
NIP 198511102014041001

Anggota I

Catur Suko Sarwono, S.T., M.Si
NIP 196801191997021001

Anggota III

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 196104141989021001

Mengesahkan
Dekan
Fakultas Teknik
Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM
NIP 196612151995032001

SUMMARY

Effect of Four Wave Mixing (FWM) with Doped Fiber Amplifier (EDFA) on Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM); Zedyka Ardy Saputra, 091910201092; 2017; 125 pages; Department of Electrical Engineering, the Faculty of Engineering, Jember University.

Telecommunications has an important role for humans to exchange information. Along with the development of the era, high-speed and large capacity communication is required which can be realized with the use of optical fiber technology. With a long range of distance compared to copper cable and also immunity to electrical and radio frequency interference, optical fiber is needed to support the current information exchange process. In optical fibers, one of the fastest growing technologies is the Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) technology that has several advantages over previous technologies. However, this technology has one of the drawbacks that there is nonlinearity Four Wave Mixing (FWM). Therefore, it is necessary to overcome and mitigate the effects of these effects. The purpose of this research is to know the input power to Four Wave Mixing effect. The results of the study are expected to be utilized for the development of a much larger information delivery process in the future.

The study was conducted in two stages: data collection and data testing. The data collected includes the number of channels, channel spacing, input power, wavelength, optical fiber type, dispersion, fiber length, attenuation, and power budget. After conducting data collection, the next step is to test data. The data test is performed simulated in five scenarios by changing some parameters such as dispersion arrangement of 0 and 6, input power -8 dBm and input power is not equal, then channel channel spacing of 300 GHz and channel spacing is not the same.

The simulation test using Optisystem 7.0 software, it is found that FWM effect greatly affects the quality of DWDM network because Q Factor result at the

dispersion zero = 0 is below 6. The FWM effect will be smaller along with the use of larger dispersion type.

In tests using 300 GHz channel spacing or larger and channel spacing is not the same, the power of the raised FWM decreases, and for Q Factor results are not very influential. Then for unequal use of input power to produce Q Factor value which is directly proportional to the input power value, the greater the input power the better the Q Factor value.



RINGKASAN

Pengaruh *Four Wave Mixing* (FWM) dengan Penguat *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA) pada Teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM); Zedyka Ardy Saputra, 091910201092; 2017; 125 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Telekomunikasi memiliki peran penting bagi manusia untuk pertukaran informasi. Seiring perkembangan jaman diperlukan komunikasi berkecepatan tinggi dan berkapasitas besar yang dapat diwujudkan dengan penggunaan teknologi serat optik. Dengan jangkauan jarak yang jauh dibandingkan kabel tembaga dan juga kekebalan terhadap gangguan frekuensi listrik dan radio, serat optik sangat dibutuhkan untuk menunjang proses pertukaran informasi saat ini. Pada serat optik, salah satu teknologi yang berkembang pesat adalah teknologi *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) yang memiliki beberapa kelebihan dari teknologi sebelumnya. Akan tetapi teknologi ini memiliki salah satu kekurangan yaitu terdapat efek nonlinieritas *Four Wave Mixing* (FWM). Oleh karena itu, diperlukan cara untuk mengatasi dan mengurangi pengaruh dari efek tersebut. Tujuan dari penelitian untuk mengetahui pengaruh jumlah spasi kanal serta daya input terhadap efek *Four Wave Mixing*. Hasil penelitian diharapkan dapat dimanfaatkan untuk perkembangan proses pengiriman informasi yang jauh lebih besar dimasa datang.

Penelitian dilaksanakan dalam dua tahap yaitu pengumpulan data dan pengujian data. Data yang dikumpulkan meliputi jumlah kanal, spasi kanal, daya input, panjang gelombang, jenis serat optik, dispersi, panjang fiber, redaman, dan power budget. Setelah melakukan pengumpulan data, tahapan selanjutnya yaitu dengan melakukan pengujian data. Pengujian data dilakukan secara simulasi dalam lima skenario dengan merubah beberapa parameter seperti pengaturan dispersi sebesar 0 dan 6, daya input -8 dBm dan daya input tidak sama, lalu pengaturan spasi kanal sebesar 300 GHz dan spasi kanal tidak sama.

Dari pengujian secara simulasi menggunakan *software Optisystem 7.0* diperoleh hasil bahwa efek FWM sangat mempengaruhi kualitas jaringan DWDM karena hasil *Q Factor* pada saar dispersi = 0 bernilai dibawah 6. Efek FWM akan semakin kecil seiring dengan penggunaan jenis dispersi yang lebih besar.

Pada pengujian dengan menggunakan spasi kanal 300 GHz atau lebih besar dan spasi kanal tidak sama, daya FWM yang dibangkitkan semakin mengecil, dan untuk hasil *Q Factor* tidak terlalu berpengaruh. Lalu untuk penggunaan daya input yang tidak sama menghasilkan nilai *Q Factor* yang berbanding lurus dengan nilai daya masukan, semakin besar daya input maka semakin baik nilai *Q Factor*.

PRAKATA

Puji Syukur ke hadirat Allah SWT. Atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh *Four Wave Mixing* (FWM) dengan Penguat *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA) pada Teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM)”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dodi Setiabudi, S.T., M.T., sebagai Dosen Pembimbing Utama, Catur Suko Sarwono, S.T., sebagai Dosen Pembimbing Anggota, yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T., sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
3. Ibunda Ani dan ayahanda Abdul Harief, yang selalu memberikan dorongan dan doanya demi terselesaikannya skripsi ini;
4. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 24 Juli 2017

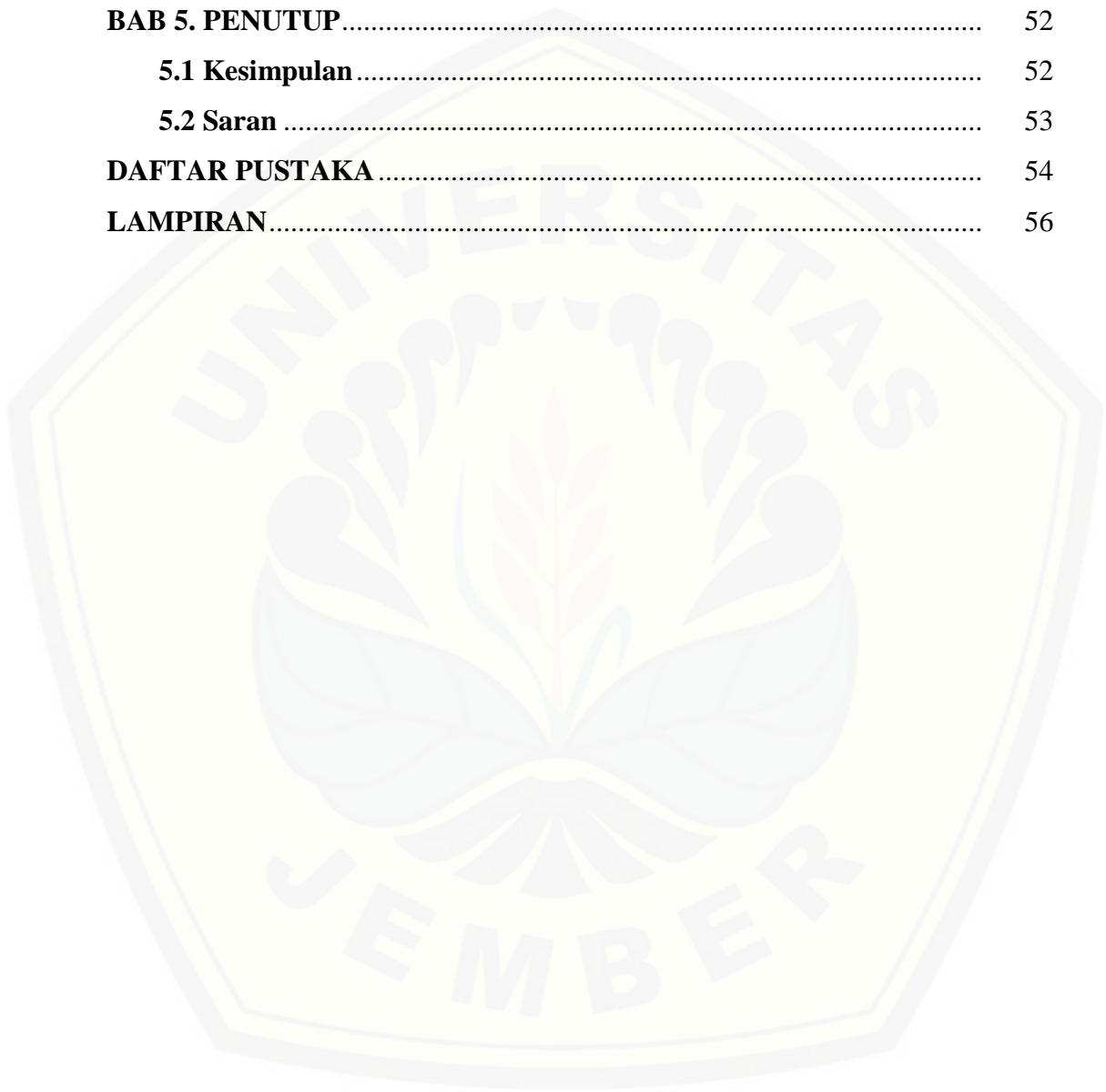
Zendyka Ardy Saputra

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Hasil Penelitian yang Relevan	5
2.2 Fiber Optik / Serat Optik	10
2.2.1 Prinsip Kerja Fiber Optik.....	10
2.3 Karakteristik Fiber Optik	10
2.4 Jenis Kabel Fiber Optik	12
2.4.1 Single Mode	12
2.4.2 Multi Mode	12

2.5 Struktur Serat Optik Multi Mode Step Index.....	13
2.6 Struktur Serat Optik Multi Mode Graded Index	14
2.7 Struktur Serat Optik Single Mode Step Index.....	15
2.8 Rugi – Rugi pada Serat Optik.....	16
2.9 Four Wave Mixing	16
2.9.1 Perhitungan Daya FWM	17
2.10 Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA).....	18
2.11 Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM).....	19
2.12 Bit Error Rate (BER) dan Q Factor.....	20
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Tempat Penelitian	21
3.2 Tahap Perencanaan	21
3.3 Alat dan Bahan.....	22
3.4 Prosedur Penelitian.....	23
BAB 4. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Ring 1 Optik XL Jember Area sebagai tempat pengambilan data.....	26
4.1.1 Skema jalur penelitian pada Ring 1 Optik XL Jember Area	26
4.2 Hasil Pengukuran.....	30
4.3 Hasil Perhitungan	30
4.4 Analisis Power Budget.....	33
4.5 Perbandingan data power budget	35
4.6 Pameter Jaringan Serat Optik.....	36
4.7 Efek Four Wave Mixing	37
4.8 Simulasi	38
4.9 Hasil Simulasi	40
4.9.1 Grafik HUT Jember – HUT Puger Jalur KA Port 1, 4, 7, dan 8.....	41
4.9.2 Grafik HUT Jember – HUT Klakah Jalur PU Port 3, 4, 7, dan 8.....	41

4.10 Simulasi Pengujian dengan Menggunakan Parameter yang Berbeda	42
4.10.1 Hasil Q Factor	47
4.11 Perhitungan Daya Four Wave Mixing / Power Penalty	49
BAB 5. PENUTUP	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	56



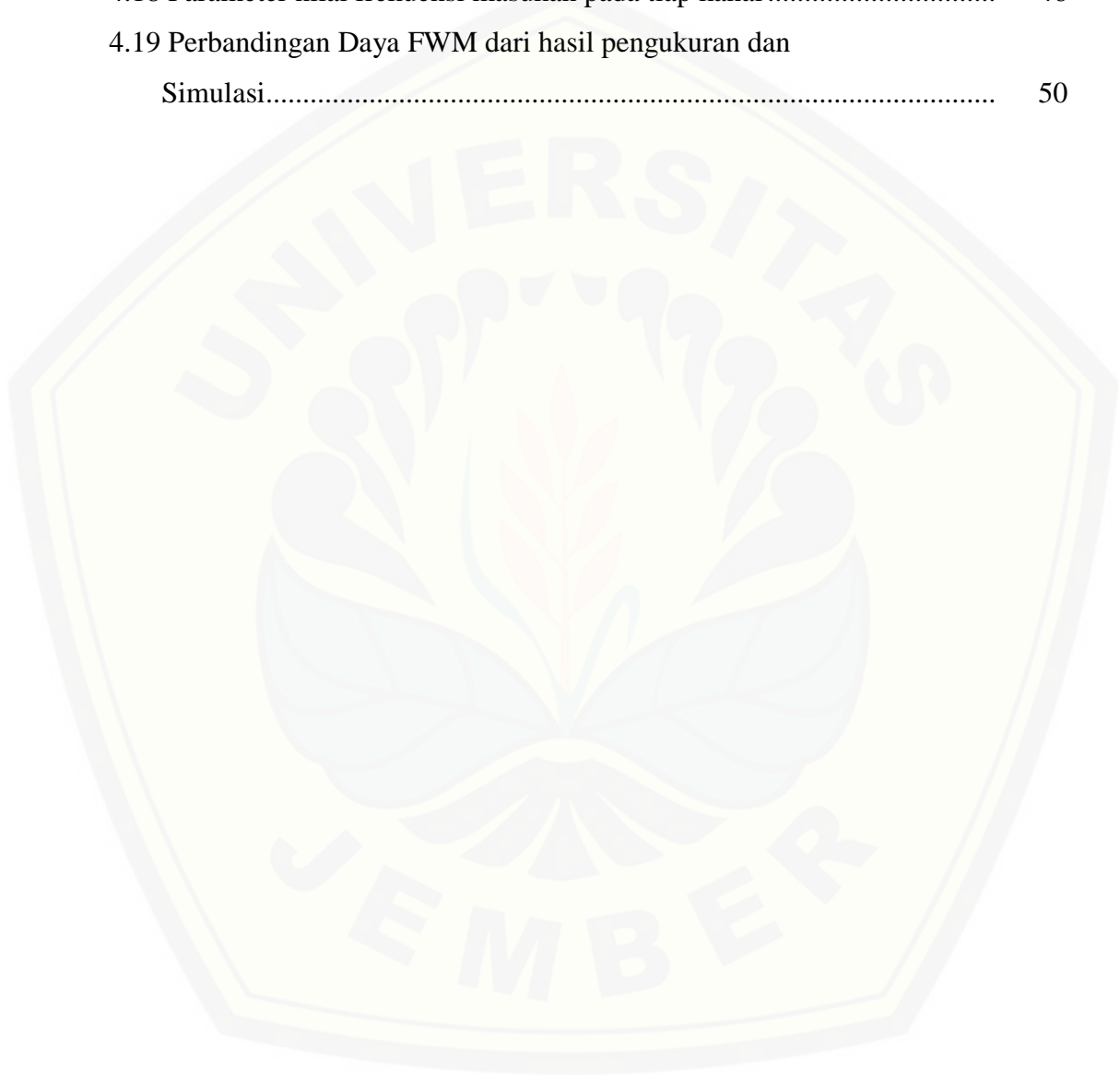
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Struktur Umum Fiber Optik	11
2.2 Serat Single Mode	12
2.3 Serat Multi Mode	12
2.4 Struktur Multi Mode Step Index	13
2.5 Struktur Multi Mode Graded Index.....	14
2.6 Struktur Single Mode Step Index	15
2.7 Skema <i>Four Wave Mixing</i>	17
2.8 Blok Diagram Sistem Penguatan Serat <i>Erbium Doped</i>	19
4.1 Denah Ring 1 Optik XL Jember Area.....	27
4.2 Grafik Perbandingan Data Power Budget hasil perhitungan dan pengukuran.....	35
4.3 Simulasi HUT Jember – HUT Puger Jalur KA <i>Port 1</i>	39
4.4 Grafik perbandingan <i>Q Factor</i> pada HUT Jember – Puger Jalur KA <i>Port 1, 4, 7, dan 8</i>	41
4.5 Grafik perbandingan <i>Q Factor</i> pada HUT Jember – Klakah Jalur PU <i>Port 3, 4, 7, dan 8</i>	41
4.6 <i>Spectrum Analyzer</i> HUT Jember – HUT Klakah Jalur PU <i>Port 7</i> dengan dispersi = 4, daya input -8 dBm, dan spasi kanal 100 GHz	42
4.7 Hasil <i>Spectrum Analyzer</i> dengan Dispersi 0	43
4.8 Hasil <i>Spectrum Analyzer</i> dengan Dispersi 6	43
4.9 Hasil <i>Spectrum Analyzer</i> dengan Daya Input Tidak Sama	44
4.10 Hasil <i>Spectrum Analyzer</i> dengan Spasi Kanal 300 GHz.....	45
4.11 Nilai frekuensi Masukan pada <i>Transmitter</i>	46
4.12 Hasil <i>Spectrum Analyzer</i> dengan Spasi Kanal Tidak Sama.....	47
4.13 Grafik Perbandingan <i>Q Factor</i> pada Dispersi 4, 0, dan 6.....	47
4.14 Grafik Perbandingan <i>Q Factor</i> pada Daya Input	48
4.15 Grafik Perbandingan Spasi Kanal	48
4.16 Grafik Hasil Perhitungan Daya FWM	50

DAFTAR TABEL

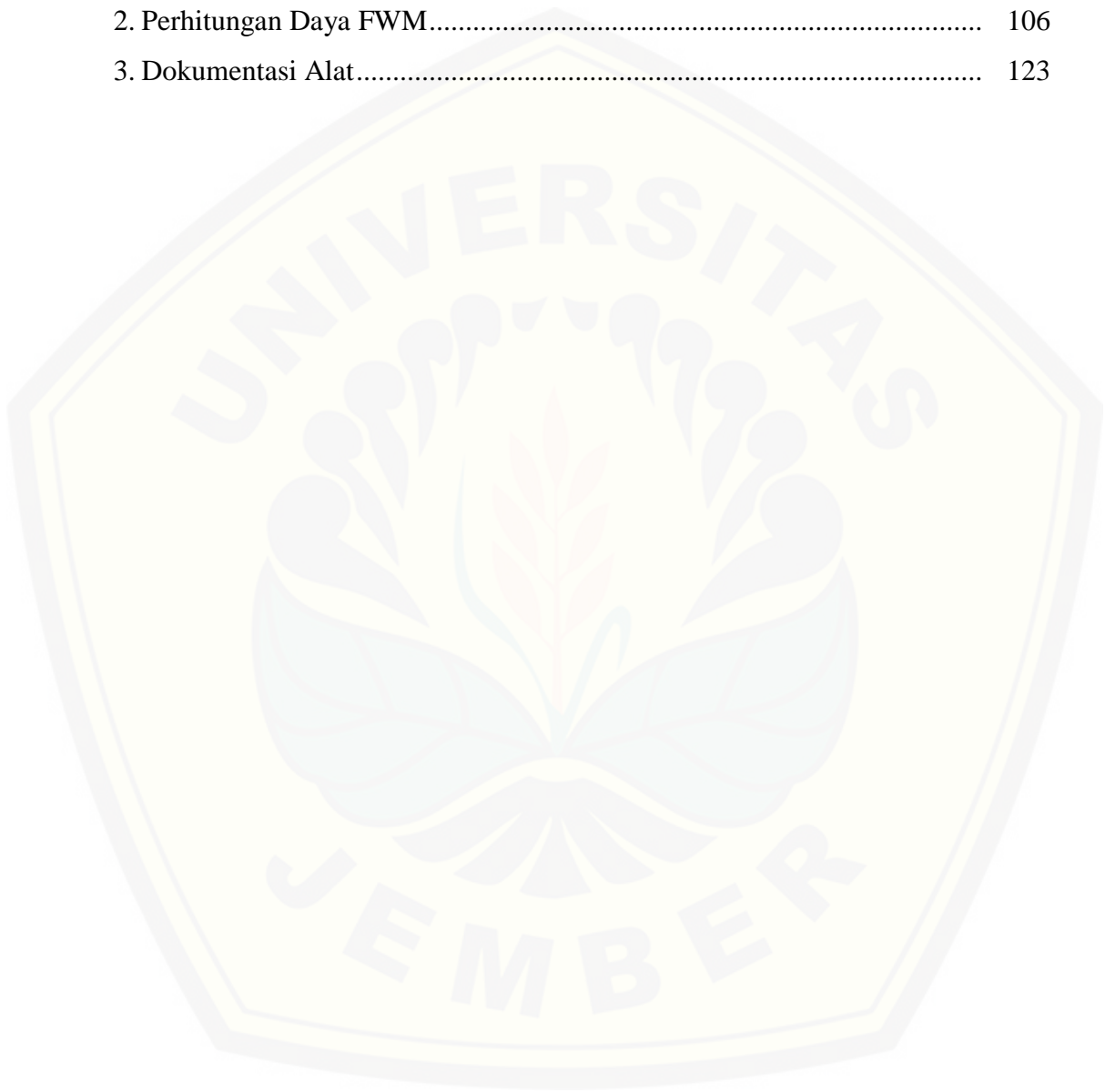
	Halaman
2.1 Matriks Solusi Masalah.....	5
4.1 Data penggunaan jaringan dari HUT Jember – HUT Puger/HUT Klakah via Jalur KA.....	28
4.2 Data penggunaan jaringan dari HUT Jember – HUT Puger/HUT Klakah via jalur PU.....	29
4.3 Data hasil pengukuran panjang dan power budget pada HUT Jember – HUT Puger Jalur KA.....	30
4.4 Data hasil pengukuran panjang dan power budget pada HUT Jember – HUT Klakah Jalur PU.....	30
4.5 Hasil perhitungan redaman total pada HUT Jember – HUT Puger Jalur KA <i>Port 1</i>	31
4.6 Hasil perhitungan redaman total pada HUT Jember – HUT Puger Jalur KA <i>Port 4</i>	31
4.7 Hasil perhitungan redaman total pada HUT Jember – HUT Puger Jalur KA <i>Port 7</i>	31
4.8 Hasil perhitungan redaman total pada HUT Jember – HUT Puger Jalur KA <i>Port 8</i>	31
4.9 Hasil perhitungan redaman total pada HUT Jember – HUT Klakah Jalur PU <i>Port 3</i>	32
4.10 Hasil perhitungan redaman total pada HUT Jember – HUT Klakah Jalur PU <i>Port 4</i>	32
4.11 Hasil perhitungan redaman total pada HUT Jember – HUT Klakah Jalur PU <i>Port 7</i>	32
4.12 Hasil perhitungan redaman total pada HUT Jember – HUT Klakah Jalur PU <i>Port 8</i>	32
4.13 Parameter Jaringan Serat Optik.....	36
4.14 Nilai frekuensi pada tiap kanal.....	37
4.15 Hasil BER dan <i>Q Factor</i> pada HUT Jember – HUT	

Puger Jalur KA.....	40
4.16 Hasil BER dan Q Factor pada HUT Jember – HUT Klakah Jalur PU	40
4.17 Parameter daya input masukan pada tiap kanal.....	44
4.18 Parameter nilai frekuensi masukan pada tiap kanal	46
4.19 Perbandingan Daya FWM dari hasil pengukuran dan Simulasi.....	50



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Simulasi Menggunakan Optisystem 7	56
2. Perhitungan Daya FWM.....	106
3. Dokumentasi Alat.....	123



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Komunikasi merupakan proses menyampaikan informasi dari pengirim ke penerima. Para pelaku komunikasi ini bisa berupa individu, komunitas maupun antarperangkat. Kebutuhan manusia yang semakin kompleks menyebabkan komunikasi menjadi sangat penting, sehingga untuk menunjang komunikasi jarak jauh diperlukan perangkat seperti telepon dan internet. Seiring perkembangan jaman diperlukan komunikasi berkecepatan tinggi dan berkapasitas besar. Hal ini dapat diwujudkan dengan penggunaan teknologi serat optik.

Teknologi *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) merupakan suatu teknik transmisi yang memanfaatkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda sebagai kanal-kanal informasi, sehingga setelah dilakukan proses *me-multiplexing* seluruh panjang gelombang tersebut ditransmisikan melalui sebuah serat optik (Herdianta, 2015). DWDM memungkinkan pengiriman banyak kanal informasi dalam satu jalur serat optik sehingga serat optik itu memiliki kapasitas pengiriman yang besar, namun juga memperbesar efek ketidaklinieran yang menyebabkan terjadi *crossstalk* sehingga menurunkan kinerja sistem. Efek ketidaklinieran tersebut adalah *Four Wave Mixing* (FWM), yaitu suatu sinyal yang muncul karena adanya pencampuran sinyal – sinyal optik kuat yang berdekatan. *Four Wave Mixing* timbul akibat pengaruh ketergantungan indeks bias serat optis dengan intensitas gelombang optis yang merambat sepanjang serat (Ardelina, 2011).

Pada media transmisi jaringan telekomunikasi sering terjadi redaman pada serat optik yang mengakibatkan daya pancar yang diterima menjadi semakin kecil. Oleh karena itu dibutuhkan penguatan pada media transmisi untuk menjaga mutu daya yang diterima oleh *receiver*. Dalam penelitian ini jenis penguatan yang akan diteliti adalah penguatan jenis *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA).

Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA) merupakan salah satu jenis penguat optik yang membangkitkan sinyal dengan faktor penguatan yang lebih besar dan

dapat membawa data dengan kecepatan bit yang lebih tinggi dibanding penguat elektronik.

Penelitian pada skripsi ini akan membahas pengaruh *four wave mixing* (FWM) dengan penguat *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA) pada teknik *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM).

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian kali ini :

1. Bagaimana pengaruh jumlah spasi kanal serta daya input terhadap efek *Four Wave Mixing* (FWM) dengan penguat *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA) pada teknik DWDM?
2. Bagaimana nilai *Q Factor* dan BER dengan adanya pengaruh daya *Four Wave Mixing* (FWM) dengan penguat EDFA pada teknik DWDM?
3. Bagaimana nilai daya *Four Wave Mixing* (FWM) atau power penalty dari jaringan serat optik DWDM?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memperjelas dan menghindari meluasnya masalah, maka batasan masalahnya yaitu:

1. Serat optik yang digunakan adalah jenis *single mode* 1550nm.
2. Tidak membahas tentang format modulasi.
3. Parameter kinerja yang digunakan adalah spasi kanal, daya input, dispersi, *Q factor*, dan *Bit Error Rate* (BER).

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh jumlah spasi kanal serta kebutuhan daya terhadap efek *Four Wave Mixing* (FWM) dengan penguat *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA) pada teknik DWDM.

2. Mengetahui nilai Q Factor dan BER dengan adanya pengaruh daya *Four Wave Mixing* (FWM) dengan penguat EDFA pada teknik DWDM.
3. Mengetahui nilai daya *Four Wave Mixing* (FWM) atau power penalty dari jaringan serat optik DWDM.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dalam bidang telekomunikasi.
2. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penulisan juga sistematika penulisan yang digunakan. Bab ini diharapkan dapat memberi gambaran awal tentang studi analisis yang akan dilakukan ini.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi penjelasan tentang konsep dasar dari efek nonlinear *four wave mixing* serta penguat *erbium doped fiber amplifier* pada teknik *dense wavelength division multiplexing*.

BAB 3. METODE PENELITIAN

Menjelaskan tentang metode kajian yang digunakan dalam melakukan penelitian dan menyelesaikan skripsi. Serta waktu, tempat, sistematika analisis, tatap muka, basis data dan alur prosesnya dalam bentuk diagram alur.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil penelitian dan analisa hasil penelitian.

BAB 5. PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hasil Penelitian yang Relevan

Pada subbab ini dibuat untuk meninjau penelitian yang sudah ada dengan penelitian yang akan dikerjakan sebagai bahan perbandingan.

Tabel 2.1 Matriks Solusi Masalah

No	Masalah	Penyebab	Solusi	Hasil	Sumber
1	Crosstalk	Banyak kanal yang disalurkan dan ada pencampuran sinyal optis kuat dengan frekuensi yang berdekatan	Pengaturan jarak antar kanal yang tidak seragam	Mengurangi crosstalk dan daya FWM yang dibangkitkan	Pengaruh Alokasi Kanal dan Karakteristik Serat Optis Terhadap Besarnya Efek Four Wave Mixing (FWM) dalam Komunikasi Optis. Ardelina D.W. (2011).
2	Kehilangan daya	Transmisi jarak jauh	Analisa EDFA dan SOA untuk inline amplifier dan pre amplifier	Jarak transmisi penguat SOA lebih jauh daripada penguat EDFA	Studi Perbandingan Performansi Semiconductor Optical Amplifier dengan Erbium Doped

					Fiber Amplifier. Yudi Nasrendra (2016).
3	Antisipasi kehilangan daya	Transmisi jarak jauh	In-line amplifier ditempatkan pada saluran transmisi	Penguatan sinyal dengan gain yang besar	Aplikasi In-Line Amplifier EDFA Pada Sistem Transmisi Panjang Gelombang Tunggal dan Transmisi Berbasis WDM. Octarina N., Ary S. (2008)
4	Nilai crosstalk yang kurang baik	Kenaikan jumlah kanal transmisi	Penerapan OADM menggunakan FBG	Penurunan panjang grating, peningkatan jumlah kanal transmisi, mengurangi nilai crosstalk	Analisis Penerapan Optical Add-Drop Multiplexer (OADM) menggunakan Fiber Bragg Grating (FBG) pada Teknik Dense Wavelength

					Division Multiplexing (DWDM). Edita R.W., Dr. Ir. Sholeh H. P. MS., M. Fauzan E.P. ST., MT. (2013)
4	Nilai redaman yang besar	Bending loss	Perawatan secara berkala pada kabel yang mengalami bending loss	Peningkatan performansi dan kinerja sistem serat optik	Analisis Redaman Terhadap Performance Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) pada Sistem Komunikasi Serat Optik dengan Metode Link Power Budget di PT. Telkom Padang (Studi Kasus Link Padang – Lubuk Basung). Farta W.H.,

					Hanesman, Delsina F. (2015)
5	Performansi penguat SOA, RAMAN, dan EDFA	Dispersi dan jumlah kanal	Perbandingan performa SOA, RAMAN, dan EDFA dengan dispersi dan jarak yang berbeda	SOA lebih baik ketika dispersi 2 ps/nm/km. Ketika dispersi dan jumlah kanal maka EDFA yang lebih baik	Performance evaluation of EDFA, RAMAN and SOA optical amplifier for WDM systems. Simranjit S., Amanpreet S., R.S. Kaler. (2011)
6	Crosstalk yang besar	Banyaknya jumlah kanal	Menganalisa akibat FWM pada DWDM dengan jenis fiber yang berbeda, dan menggunakan three-channel code (TCC)	Mengurangi crosstalk	Effective Channel Allocation to Reduce Inband FWM Crosstalk in DWDM Transmission Systems. Antonella B., Luca P. (2004)
7	Crosstalk	Jumlah kanal	Dengan input konfigurasi dua atau tiga kanal semua	Mengurangi crosstalk	Accurate Measurement of In-Band FWM Power

			gelombang FWM dapat diperkirakan dengan mengukur daya dari dua FWM		in DWDM Systems Over Nonzero Dispersion Fibers. Antonella B., Luca P. (2003)
8	Power Penalty dan crosstalk	Jumlah kanal yang berdekatan	Penambahan daya	Crosstalk berkurang dan informasi terjaga	Simulative Investigations of Power Penalty for DWDM Link in the presence of FWM. Amarphal Singh. (2008)
9	Kehilangan daya	Pencampuran sinyal karena jarak kanal yang berdekatan	Menggunakan serat kristal fotonik dan PCF	Jarak jangkauan yang dihasilkan lebih luas	Four Wave Mixing in Photonic Crystal Fibres for Wavelength Conversion in Optical Networks. D.J.Barros. (2004)

2.2 Fiber Optik / Serat Optik

Serat optik adalah saluran transmisi atau sejenis kabel yang terbuat dari kaca atau plastik yang sangat halus dan lebih kecil dari sehelai rambut, dan dapat digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat lain.

Sumber cahaya yang digunakan biasanya adalah laser atau LED. Kabel ini berdiameter lebih kurang 120 mikrometer. Cahaya yang ada di dalam serat optik tidak keluar karena indeks bias dari kaca lebih besar daripada indeks bias dari udara, karena laser mempunyai spektrum yang sangat sempit. Kecepatan transmisi serat optik sangat tinggi sehingga sangat bagus digunakan sebagai saluran komunikasi.

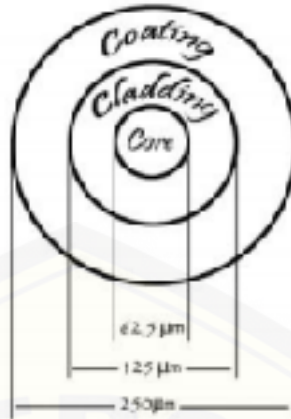
Perkembangan teknologi serat optik saat ini, telah dapat menghasilkan pelemahan (attenuation) kurang dari 20 decibels (dB)/km. Dengan lebar jalur (bandwidth) yang besar sehingga kemampuan dalam mentransmisikan data menjadi lebih banyak dan cepat dibandingkan dengan penggunaan kabel konvensional. Dengan demikian serat optik sangat cocok digunakan terutama dalam aplikasi sistem telekomunikasi.

2.2.1 Prinsip Kerja Fiber Optik

Prinsip kerja Fiber Optic tergantung pada prinsip jumlah refleksi internal. Refleksi cahaya atau dibiaskan berdasarkan sudut yang menyerang permukaan. Prinsip ini berpusat pada cara kerja serat optik membatasi sudut dimana gelombang cahaya dikirim dan memungkinkan untuk dikontrol secara efisien sampai ke tujuan. Kabel Fiber optik biasanya diaplikasikan pada infrastruktur jaringan telekomunikasi.

2.3 Karakteristik Fiber Optik

Karakteristik utama dari fiber optik, yakni memiliki inti yang terbuat dari serat kaca dan memiliki beberapa lapisan yang tentunya tiap lapisan memiliki fungsi masing-masing.



Gambar 2.1 Struktur Umum Fiber Optik (sumber: Nasrendra, 2013)

Berikut ini merupakan komponen yang membentuk karakteristik dari fiber optik :

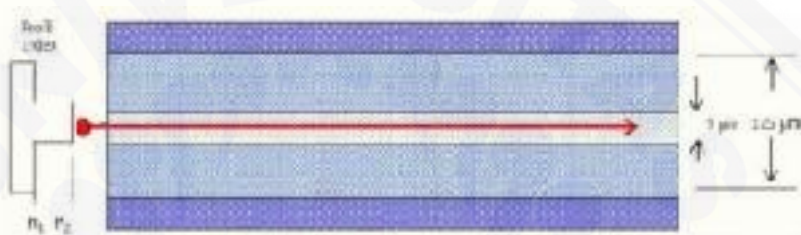
1. Inti, Pada bagian inti jenis serat kaca berpengaruh pada kualitas dari kabel fiber optik itu sendiri. Diameter inti serat optik memiliki ukuran yang berbeda-beda, antara 2 μm hingga 50 μm . Lebih besar diameter inti serat kaca maka akan semakin baik pula kualitas dan kemampuan si fiber optik ini.
2. Cladding, untuk bagian ini adalah komponen yang terbuat dari kaca dan memiliki fungsi sebagai pelindung inti fiber optik. Bagian ini sering disebut juga sebagai jaket Cladding dan untuk diameternya antara 5 μm – 250 μm . Selain sebagai pelindung inti, cladding juga berfungsi memancarkan cahaya dari luar kepada inti.
3. Coating, lapisan ini juga sering disebut sebagai mantel, berbeda dengan inti dan cladding yang terbuat dari kaca, untuk lapisan ini terbuat dari bahan plastik. Fungsi dari mantel ini adalah untuk melindungi gangguan dari luar seperti lengkungan kabel dan kelembaban udara yang dapat mengakibatkan kerusakan pada lapisan dalam. Setiap mantel memiliki warna yang berbeda-beda, tujuannya agar dapat mempermudah penyusunan urutan core.
4. Strength Member & Outer Jacket, Perlindungan utama berawal dari lapisan ini. lapisan strength member dan outer jacket merupakan

lapisan terluar dari kabel fiber optik, fungsinya jelas untuk melindungi inti kabel fiber optik dari gangguan secara langsung.

2.4 Jenis Kabel Fiber Optik

2.4.1 Single Mode

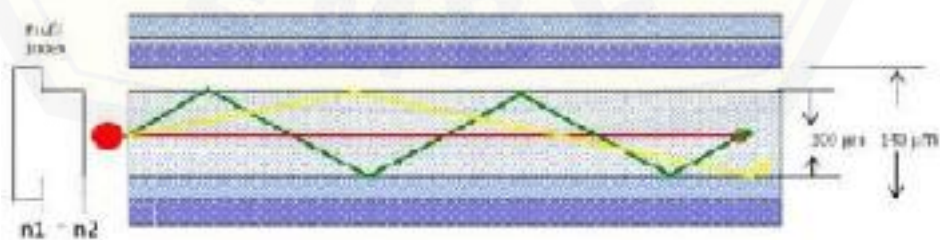
Kabel fiber optik yang memiliki inti lebih kecil dengan ukuran 9 micron. Memiliki fungsi untuk mengirimkan sinar laser inframerah (panjang gelombang 1300-1550 nm) yang hanya bisa menyebarkan cahaya melalui satu inti pada suatu waktu.



Gambar 2.2 Serat Single Mode (sumber: Nasrendra, 2013)

2.4.2 Multi Mode

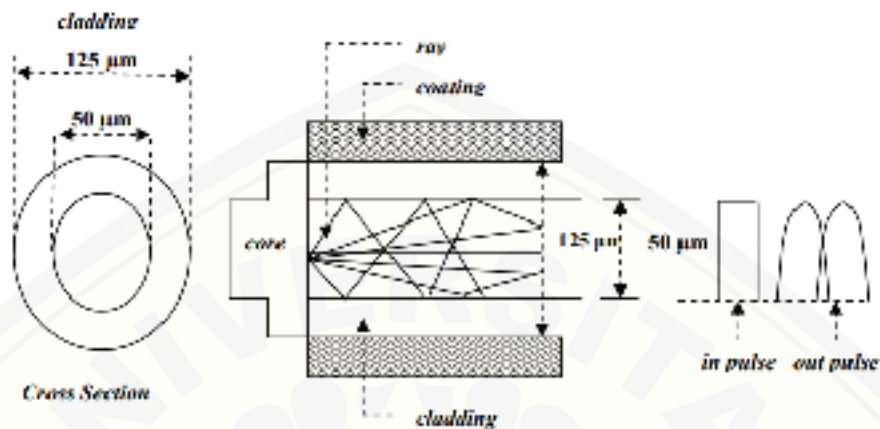
Multimode digunakan untuk tujuan komersial. Memiliki inti yang lebih besar dan memungkinkan ratusan modus cahaya tersebar melalui serat dalam waktu yang bersamaan. Untuk diameternya, multimode memiliki diameter 62.5 micron dan memiliki fungsi mengantarkan sinar inframerah dengan panjang gelombang 850-1300nm.



Gambar 2.3 Serat Multi Mode (sumber: Prasetya, 2009)

2.5 Struktur Serat Optik Multi Mode Step Index

Memiliki ukuran diameter core sebesar 50-200 μm , jarak sisi luar cladding sebesar 125-400 μm .



Gambar 2.4 Struktur Multi Mode Step Index (sumber: Prasetya, 2009)

Serat Optik ini disebut step index karena indeks-indeks bias yang ada antara cladding dengan core yang tetap perbandingannya. Dari gambar 2.4 dapat dilihat bahwa cladding memiliki indeks bias lebih rendah dari pada indeks bias pada core-nya, sehingga seluruh cahaya yang mengenai cladding dengan sudut tertentu akan mengalami refraksi secara total pada batas core dengan cladding.

Cahaya yang mencapai bagian antara core dan cladding, dengan besar sudut datang lebih kecil dari pada sudut kritisnya, maka cahaya akan mengalami pemantulan dan sebagian lagi akan dibiaskan cladding (keluar serat). Bila sudut datang cahaya lebih besar dari pada sudut kritis, maka akan terjadi pemantulan total, dimana energi akan diteruskan tidak mengalami rugi-rugi yang cukup besar.

Cahaya yang digunakan untuk mengirimkan informasi, akan mengalami banyak pemantulan sehingga energi cahaya yang dipancarkan sebagian akan berkurang atau hilang. Pada bagian kanan gambar, memperlihatkan respon bila diinput-kan sebuah pulsa kotak, maka output-nya tidak sama dengan input-nya.

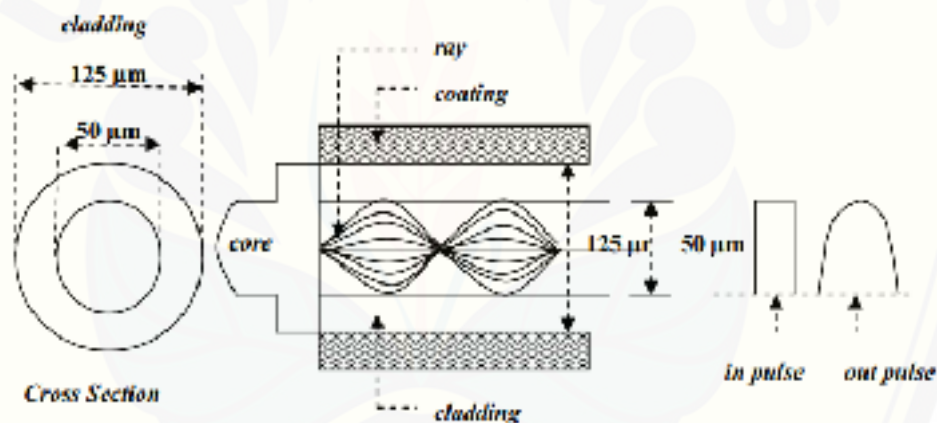
Multi Mode berarti dalam pengiriman data, berkas cahaya yang dipancarkan dari pengirim sampai penerima, melalui jalur yang berbeda-beda. Hal ini menyebabkan panjang lintasan tiap berkas cahaya sampai di penerima juga tidak sama. Sehingga di bagian detektor cahaya, pulsa yang diterima akan mengalami

pelebaran akibat waktu tempuh yang berbeda-beda sehingga penerimaan tidak dalam waktu yang bersamaan, disebut sebagai Dispersion.

2.6 Struktur Serat Optik Multi Mode Graded Index

Memiliki ukuran core dan cladding yang identik dengan Multi Mode Step Index, dimana besar core dan jarak antar sisi luar cladding sebesar 50-100 μm dan 125-140 μm .

Serat ini disebut graded index karena memiliki perubahan harga indeks bias yang bertingkat (grade), dimana harga indeks biasnya semakin besar bila mendekati sumbu core dan semakin kecil harganya bila menjauhi sumbu core. Sehingga cahaya yang dilewatkan serat optik jenis Multi Mode Graded Index ini bentuknya dapat dilihat pada gambar 2.5



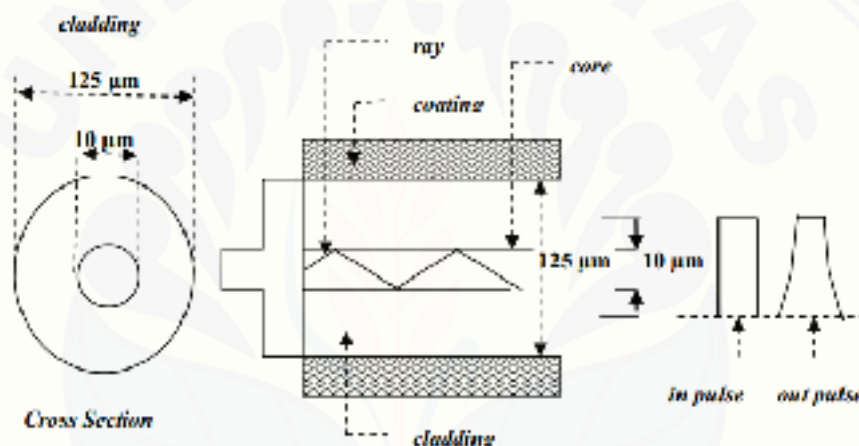
Gambar 2.5 Struktur Multi Mode Graded Index (sumber: Prasetya, 2009)

Kecepatan cahaya akan lebih kecil saat melewati suatu bahan dengan indeks bias yang tinggi. Hal ini yang menyebabkan waktu lintasan cahaya yang melewati serat optik antar ujung yang satu sama lain mendekati sama, walaupun jalan yang ditempuh kelihatannya berbeda. Sehingga pelebaran pulsa yang diterima sangat kecil. Sifat-sifatnya antara lain harganya yang lebih mahal karena memerlukan proses pembuatan core yang lebih sulit, dispersi minimum, cahaya merambat karena difraksi yang terjadi pada core sehingga rambatan cahaya sejajar dengan sumbu serat.

2.7 Struktur Serat Optik Single Mode Step Index

Pada serat optik Single Mode atau satu mode perambatan cahaya, dimungkinkan tidak bisa terjadi dispersi mode atau dispersi minimum. Hal ini karena berkas cahaya yang dapat dilewatkan melalui serat sangat sedikit akibat diameter core yang kecil. Tidak jarang karena kecilnya core, berkas cahaya yang dapat dilewatkan serat dianggap sebagai satu berkas cahaya.

Dispersi minimum ini memungkinkan data rate pengiriman sinyal lebih tinggi dari serat tipe lainnya. Hal ini dimungkinkan karena sinyal yang diterima memiliki kemungkinan overlap sangat kecil, sehingga tidak perlu mengalokasikan waktu kosong (time gap) antar pulsa yang.



Gambar 2.6 Struktur Single Mode Step Index (sumber: Prasetya, 2009)

Diameter core sangat kecil sekitar 8-12 μm dan diameter cladding 125 μm, sehingga teknik penyambungan dan pengukuran memerlukan teknik yang khusus. Sumber cahayanya harus memiliki lebar spektral yang sangat sempit dan sumber cahaya tersebut harus sangat kecil dan memiliki pancaran sinar yang terang (bright) agar nantinya didapatkan kopling yang efisien dalam proses pemancaran cahaya ke dalam core yang sangat kecil tersebut. Biasanya sebagai optical source digunakan Injection Laser Diode atau Laser Diode.

Sifat-sifatnya antara lain harga yang relatif mahal, diameter core yang sangat kecil dibanding cladding, sehingga penyambungan juga relatif lebih sulit serta NA yang kecil sehingga memerlukan laser sebagai optical source, cahaya

merambat dalam satu mode saja yaitu sejajar dengan sumbu optik, digunakan pada transmisi data dengan bit rate yang tinggi (mencapai orde Gygabyte per second).

2.8 Rugi – Rugi Pada Serat Optik

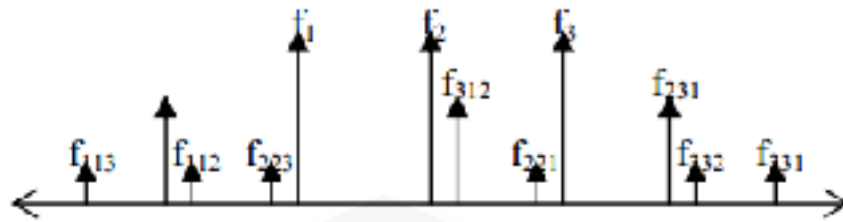
Salah satu parameter yang harus diperhitungkan dengan cermat dalam sistem komunikasi serat optik adalah rugi-rugi serat optik. Secara umum, rugi-rugi yang terjadi pada serat optik disebabkan oleh :

- Karakteristik Bahan
- Rugi-rugi intrinsik, disebabkan oleh absorpsi infra merah, absorpsi ultraviolet, dan Rayleigh Scattering
- Impurity (absorpsi bahan campuran)
- Penyambungan
- Pelengkungan
- Splicing
- Kopling
- Refleksi Fresnel
- Dispersi

2.9 Four Wave Mixing

Four Wave Mixing (FWM) merupakan sinyal baru yang timbul karena adanya pencampuran sinyal-sinyal optik kuat yang saling berdekatan. FWM adalah salah satu efek ketidaklinearan yang sangat berpengaruh dalam performansi sistem DWDM. Efek dari FWM ini menyebabkan terjadinya cakup silang pada kanal masukan, sehingga besarnya daya yang dihasilkan dan banyaknya kanal yang akan digunakan menjadi terbatas (Hafiz Abd El Latif Ahmed Habib, 2007).

Gambar berikut menunjukkan diagram skematik FWM dalam domain frekuensi.



Gambar 2.7. Skema *Four Wave Mixing* (sumber: Ardelina, 2011)

2.9.1 Perhitungan Daya FWM

FWM timbul akibat pengaruh ketergantungan indeks bias serat optis dengan intensitas gelombang optis yang merambat sepanjang serat. Interaksi ini menyebabkan munculnya gelombang optis lain dengan frekuensi f_g yang terjadi melalui pencampuran (*mixing*) tiga gelombang dengan frekuensi f_i , f_j , dan f_k menurut persamaan $f_g = f_i + f_j - f_k$. (Ardelina, 2011).

Efisiensi FWM (D.J.Barros, 2004) dinyatakan sebagai

$$\eta = \frac{\alpha^2}{\alpha^2 + \Delta\beta^2} \left(1 + \frac{4e^{-\alpha L} \sin^2\left(\frac{\Delta\beta L}{2}\right)}{(1 - e^{-\alpha L})^2} \right) \dots\dots\dots (2.1)$$

Untuk L_{eff}

$$L_{eff} = (1 - e^{-\alpha L}) / \alpha \dots\dots\dots (2.2)$$

Intensitas tergantung dari faktor *phase matching* dan dinyatakan sebagai

$$\Delta\beta = \beta_{signal} + \beta_{converted} - 2\beta_{pump} = \frac{2\pi\lambda_s^2}{c} \Delta f^2 \left[D(\lambda_s) + \Delta f \frac{\lambda_s^2}{c} \frac{\partial D}{\partial \lambda} \right] \dots\dots\dots (2.3)$$

Daya FWM dinyatakan sebagai

$$P_{ijk} = \eta_{ijk} \frac{1024\pi^6 x_{1111}^2 d^2}{n^4 \lambda^2 c^2} \left(\frac{L_{eff}}{A_{eff}} \right)^2 P_i \cdot P_j \cdot P_k \cdot \exp(-\alpha L) \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

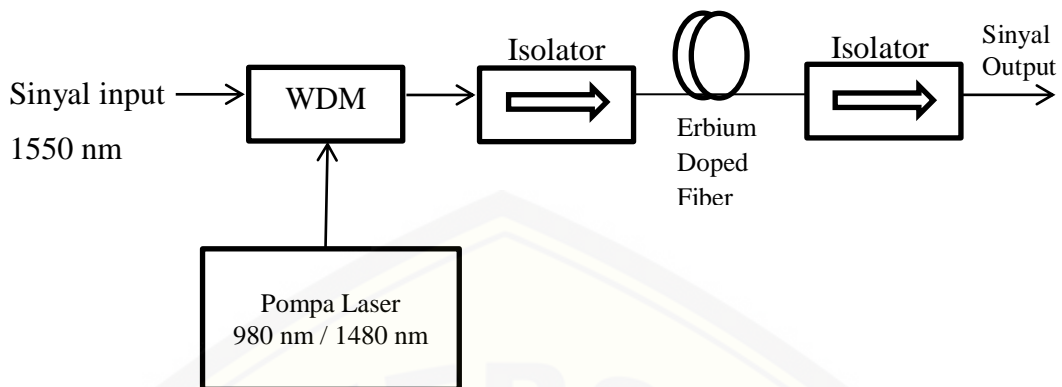
- P_{ijk} = Daya FWM yang dibangkitkan (W)
 c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)
 d = faktor degenerasi
 L = jarak antar penguat (m)
 L_{eff} = panjang efektif serat optis (m)
 A_{eff} = luas efektif serat optis (m^2)
 P = daya puncak sinyal kanal
 η_{ijk} = efisiensi FWM
 X^{1111} = *susceptibility nonlinear* serat orde ketiga (V^3/m^3)
 n = indeks refraktif serat optis
 α = atenuasi (dB/km)

2.10 Erbium-Doped Fiber Amplifier (EDFA)

Pada jaringan jarak jauh dibutuhkan beberapa penguat ulang elektronik untuk memperbaiki pelemahan sinyal yang terjadi. Solusi untuk mengatasinya adalah dengan komponen aktif *erbium doped fiber amplifier* (EDFA) yang menguatkan sinyal tanpa harus terlebih dahulu mengubahnya ke dalam sinyal elektronik.

Serat *erbium doped amplifier* terdiri dari beberapa meter serat optik yang di doped dengan elemen-elemen *rare earth erbium*. Prinsipnya, laser digunakan untuk memompa serat *erbium doped* dan atom-atom diserat akan berpindah pita energi dari tingkat energi terendah ke tingkat energi yang lebih tinggi.

Sinyal optik yang melewati serat *erbium doped* berfungsi sebagai perangsang sehingga terjadi emisi yang melepaskan energi photon. Energi tersebut bersifat koheren dan dengan demikian terjadi penguatan sinyal secara optik. Bagaimanapun kombinasi keistimewaan ini menghasilkan beberapa karakteristik baru yang tidak terdapat di serat optik pada umumnya. Agar analisa secara teori dapat dilakukan lebih khusus maka dikembangkan suatu model penguatan cahaya pada serat *erbium doped*.



Gambar 2.8 Blok Diagram Sistem Penguatan Serat *Erbium Doped* (sumber: Nasrendra, 2013)

2.11 Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

Teknologi DWDM merupakan perbaikan teknologi WDM yang telah dikembangkan sebelumnya, yaitu memperkecil spasi antar kanal, sehingga terjadi peningkatan jumlah kanal yang mampu dimultipleks. Inti perbaikan terdapat pada infrastruktur yang digunakan, seperti jenis laser, tapis, dan penguat. Perbaikan teknologi ini dipicu dengan adanya perkembangan teknologi fotonik, seperti penemuan EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) sebagai penguat optik, dan laser dengan presisi yang lebih tinggi yang disebut teknologi DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing). Penemuan EDFA memungkinkan DWDM beroperasi pada daerah 1550 nm yang memiliki atenuasi rendah, sementara sebagian besar sistem WDM konvensional masih beroperasi pada daerah 1310 nm dengan tingkat atenuasi lebih tinggi.

Masukan sistem DWDM berupa trafik yang memiliki format data dan pesat bit yang berbeda dihubungkan dengan laser DWDM. Laser tersebut akan mengubah masing-masing sinyal informasi dan memancarkan dalam panjang gelombang yang berbeda-beda $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_N$. Kemudian masing-masing panjang gelombang tersebut dimasukkan ke dalam MUX (multiplexer), dan keluaran disuntikkan ke dalam sehelai serat optis. Selanjutnya keluaran MUX ini akan ditransmisikan sepanjang jaringan serat. Untuk mengantisipasi pelemahan

sinyal, maka diperlukan penguatan sinyal sepanjang jalur transmisi. Sebelum ditransmisikan sinyal ini diperkuat terlebih dahulu dengan menggunakan penguat akhir (postamplifier) untuk mencapai tingkat daya sinyal yang cukup. ILA digunakan untuk menguatkan sinyal sepanjang saluran transmisi. Sedangkan penguat awal (pre-amplifier) digunakan untuk menguatkan sinyal sebelum dideteksi. DEMUX (demultiplexer) digunakan pada ujung penerima untuk memisahkan panjang gelombang-panjang gelombang, yang selanjutnya akan dideteksi menggunakan fotodetektor. Multiplexing serentak kanal masukan dan demultiplexing kanal keluaran dapat dilakukan oleh komponen yang sama, yaitu multi/demultiplexer. Sistem DWDM memiliki lapisan fotonika utama yang bertanggung jawab untuk melewatkan data optis melalui jaringan, dengan beberapa prinsip dasar, yaitu spasi kanal, arah aliran sinyal, dan pelacakan sinyal.

2.12 Bit Error Rate (BER) dan Q Factor

Bit Error Rate adalah laju kesalahan bit yang terjadi dalam sistem transmisi digital, dimana besaran ini merupakan ukuran kualitas sinyal dalam sistem komunikasi digital. Misalnya untuk komunikasi voice maksimal BER 10^3 , artinya dalam 1000 bit sinyal yang dikirimkan maka maksimum jumlah bit yang boleh salah adalah 3 bit. Sedangkan untuk teknologi komunikasi data maksimal BER nya adalah 10^{-9} (Nasrendra, 2013).

Q Factor adalah faktor kualitas yang akan menentukan bagus tidaknya kualitas suatu link atau jaringan DWDM. Dalam sistem komunikasi serat optik khususnya DWDM, minimal ukuran *Q Factor* yang bagus adalah 6, atau 10^{-9} dalam *Bit Error Rate* (BER).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab metode penelitian menjelaskan beberapa hal pokok yaitu studi pustaka yang digunakan, parameter atau obyek penelitian, cara pengamatan dan pengujian, tempat dan waktu penelitian, langkah-langkah dalam pengumpulan data dan manajemen penelitian di lapangan, pengolahan data serta analisis data yang dipakai.

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Telekomunikasi Terapan Universitas Jember, setelah pelaksanaan seminar proposal.

3.2 Tahap Perencanaan

a. Studi Literatur

Studi literatur dimaksudkan agar penulis dapat melakukan perumusan masalah – masalah yang ada dalam proses perancangan dan penyusunan skripsi. Dalam penyusunan dibutuhkan beberapa sumber untuk membantu dalam proses pengolahan pemikiran serta yang kaitannya memperkuat berbagai bentuk opini yang muncul dalam proses perancangan.

b. Pengambilan Data

Dalam penelitian ini penulis melakukan pengukuran dan pengambilan data sesuai parameter yang terdiri dari jarak, jenis kabel, tipe kabel, atenuasi, redaman (rugi splice dan konektor), jumlah kanal, dan gain.

c. Analisis

Penulis melakukan perhitungan pada tiap – tiap parameter, kemudian membuat simulasi lalu melakukan perbandingan data hasil pengukuran dengan data hasil perhitungan / teori, apakah hasil tersebut sudah memenuhi standar yang ditentukan.

d. Pembuatan Laporan

Pembuatan laporan digunakan untuk memenuhi syarat telah dilakukannya tugas akhir (skripsi). Laporan juga merupakan bukti fisik bahwa penelitian mengenai pengaruh *four wave mixing* dengan penguat *erbium doped fiber amplifier* pada teknik *dense wavelength division multiplexing* sudah pernah dilakukan.

3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu yang terdiri dari perangkat keras (hardware) yang digunakan untuk pengukuran data. Dan perangkat lunak (software) yang digunakan untuk melakukan simulasi dan mengetahui karakteristik yang diteliti.

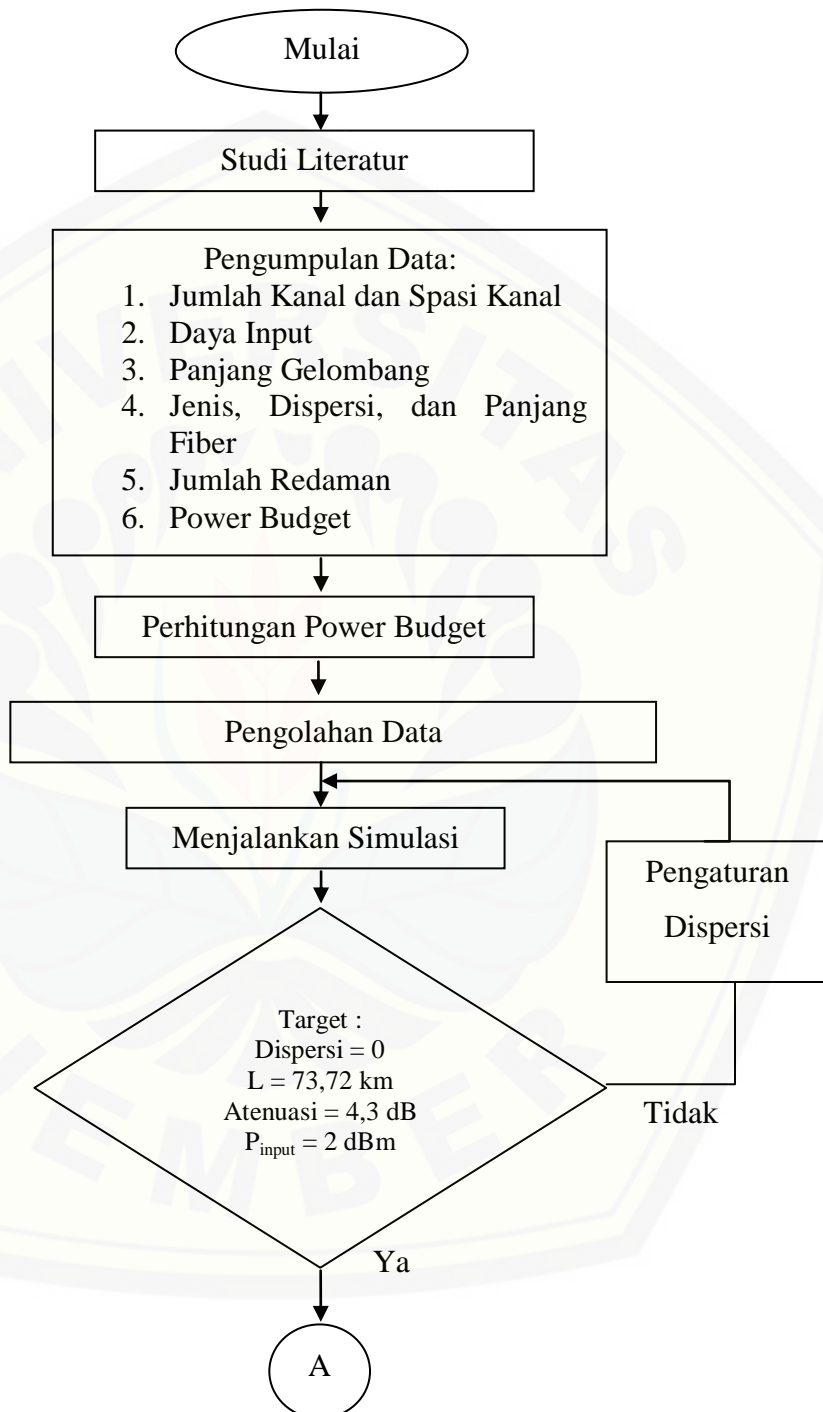
Perangkat keras (hardware) yang dipergunakan antara lain:

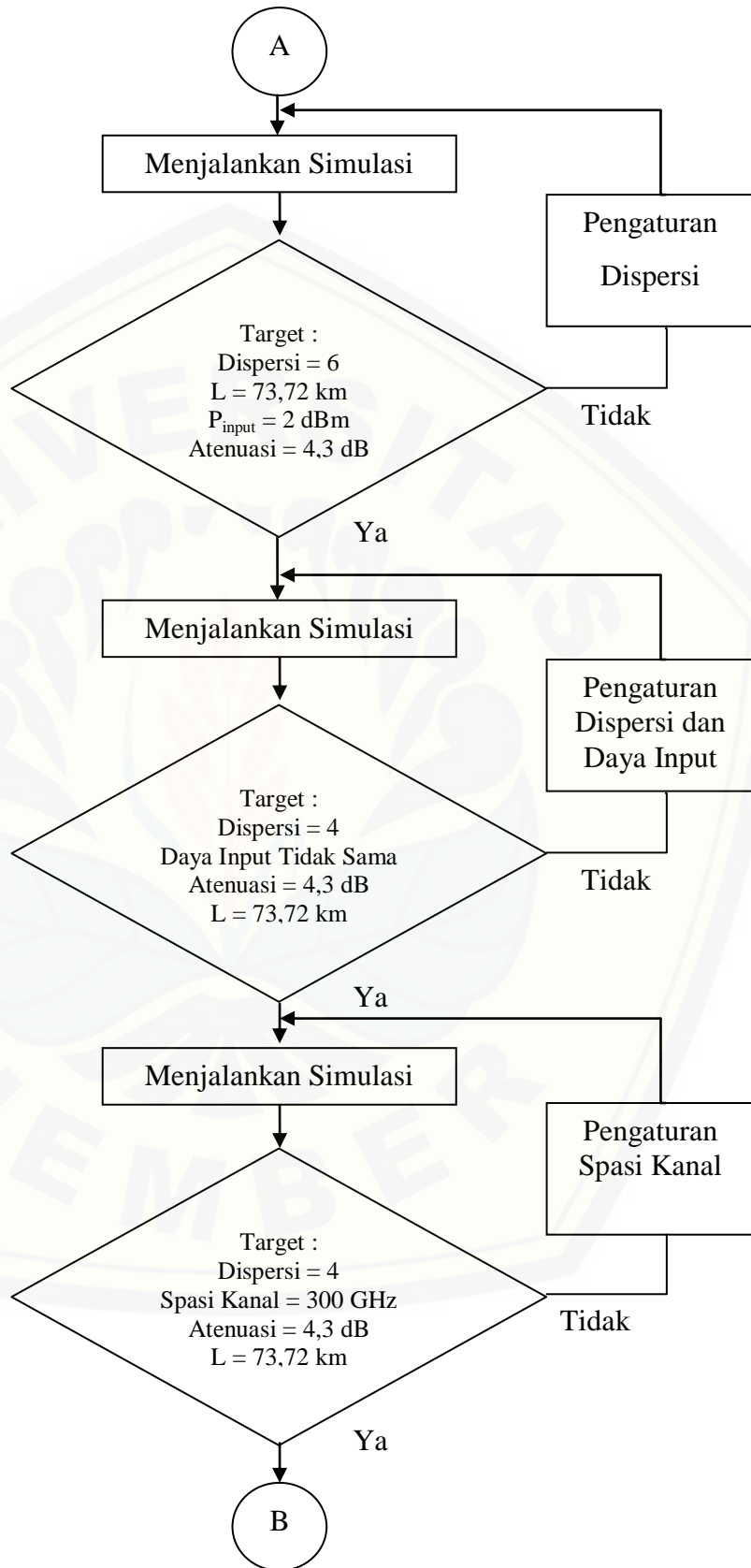
- a. *Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)*.
- b. Kabel serat optik *singlemode step index*.
- c. DWDM Tipe BWS 1600G
- d. DWDM Tipe OSN 3500
- e. DWDM Tipe 7500
- f. Laptop

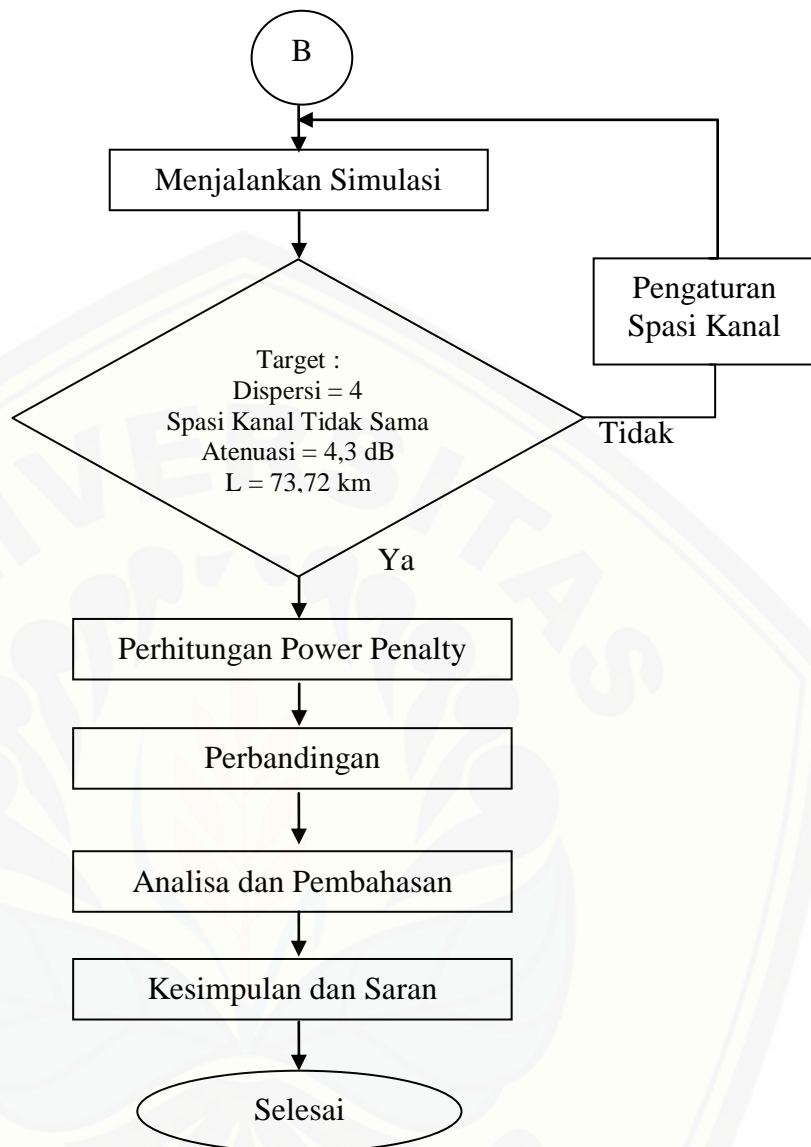
Perangkat lunak (software) yang digunakan antara lain:

- a. *Software Optisystem 7*, digunakan untuk menganalisa data secara simulasi.
- b. *Software Matlab R2009a*, digunakan untuk membantu proses perhitungan daya FWM / *power penalty*.

3.4 Prosedur Penelitian







Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

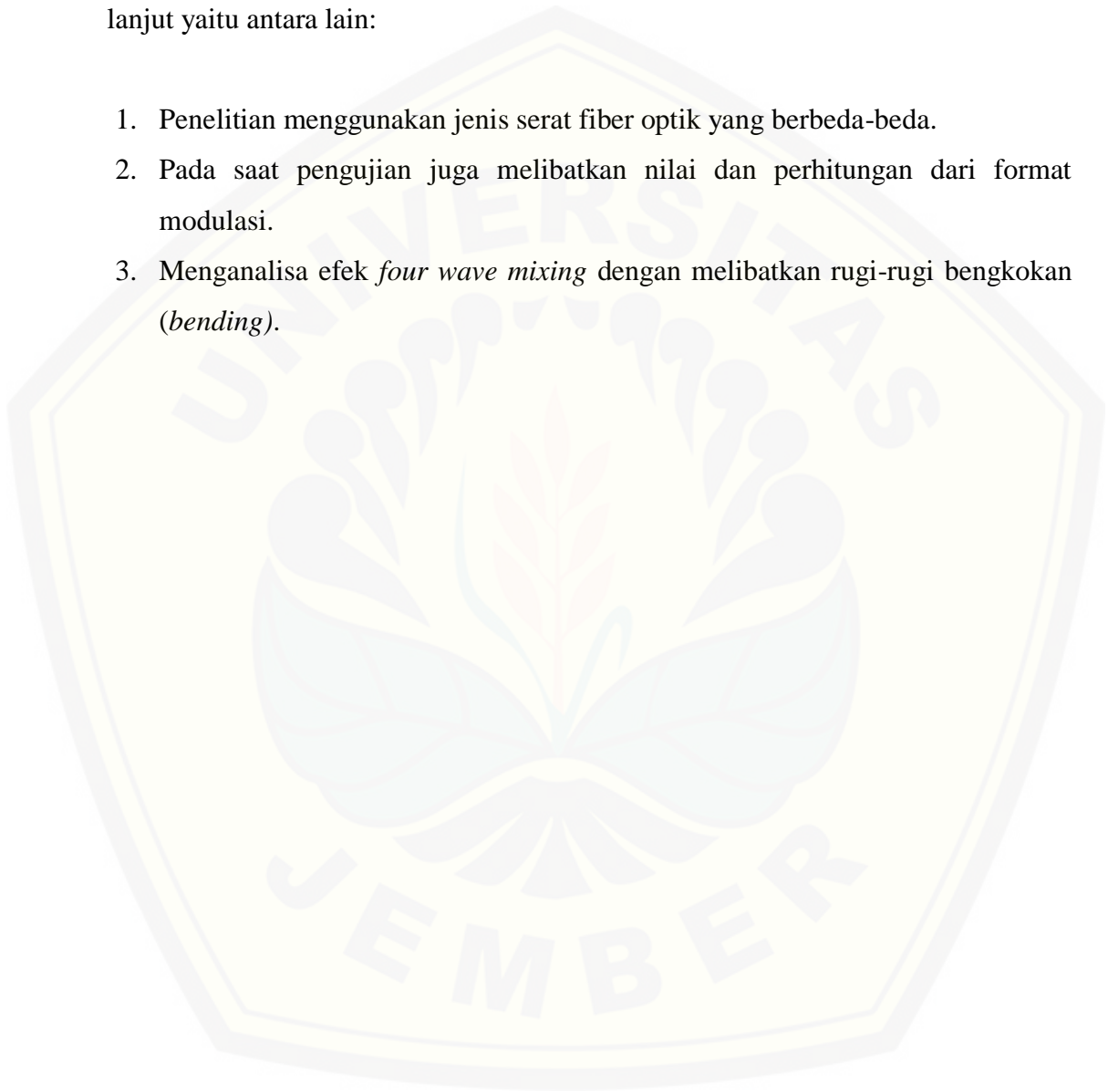
Dari hasil pengukuran dan simulasi yang telah dilakukan pada perangkat lunak *Optisystem* dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Berdasarkan hasil dari *spectrum analyzer* pada gambar 4.6 sampai 4.8 perbandingan dari penggunaan dispersi yang berbeda menghasilkan daya *four wave mixing* (FWM) yang semakin kecil seiring dengan penggunaan dispersi yang lebih besar. Penggunaan daya input yang tidak sama pada tabel 4.17 menghasilkan daya FWM yang lebih rendah dibanding penggunaan daya input yang sama. Dengan menggunakan spasi kanal 300 GHz, maka daya FWM yang dibangkitkan semakin kecil dan juga lebih sedikit. Lalu dengan menggunakan spasi kanal yang tidak sama yang ditunjukkan pada tabel 4.18 daya FWM yang dibangkitkan semakin kecil.
2. Berdasarkan gambar 4.13 sebagian kanal pada dispersi = 4 dan dispersi = 6 telah memenuhi standar ketentuan *Q Factor*, akan tetapi saat dispersi = 0 nilai yang dihasilkan sangat buruk dan tidak memenuhi standar, hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai dispersi maka semakin besar pula nilai *Q Factor*. Berdasarkan gambar 4.14 untuk penggunaan daya input tidak sama menghasilkan nilai *Q Factor* yang berbanding lurus dengan nilai daya masukan, semakin besar daya input maka semakin baik *Q Factor*. Lalu pada gambar 4.15 dapat disimpulkan bahwa penggunaan spasi kanal yang berbeda – beda tidak terlalu mempengaruhi nilai *Q Factor*.
3. Untuk hasil perhitungan daya FWM pada gambar 4.16 saat dispersi = 4, dispersi = 6, daya input tidak sama, spasi kanal 300GHz, dan spasi kanal tidak sama, nilai daya FWM yang dihasilkan tidak berbeda jauh, tetapi pada dispersi = 0 nilai daya FWM yang dihasilkan jauh lebih besar, hal ini membuktikan bahwa dispersi sangat mempengaruhi daya FWM yang dibangkitkan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk lebih menyempurnakan hasil penelitian ini atau untuk dikembangkan lebih lanjut yaitu antara lain:

1. Penelitian menggunakan jenis serat fiber optik yang berbeda-beda.
2. Pada saat pengujian juga melibatkan nilai dan perhitungan dari format modulasi.
3. Menganalisa efek *four wave mixing* dengan melibatkan rugi-rugi bengkakan (*bending*).



DAFTAR PUSTAKA

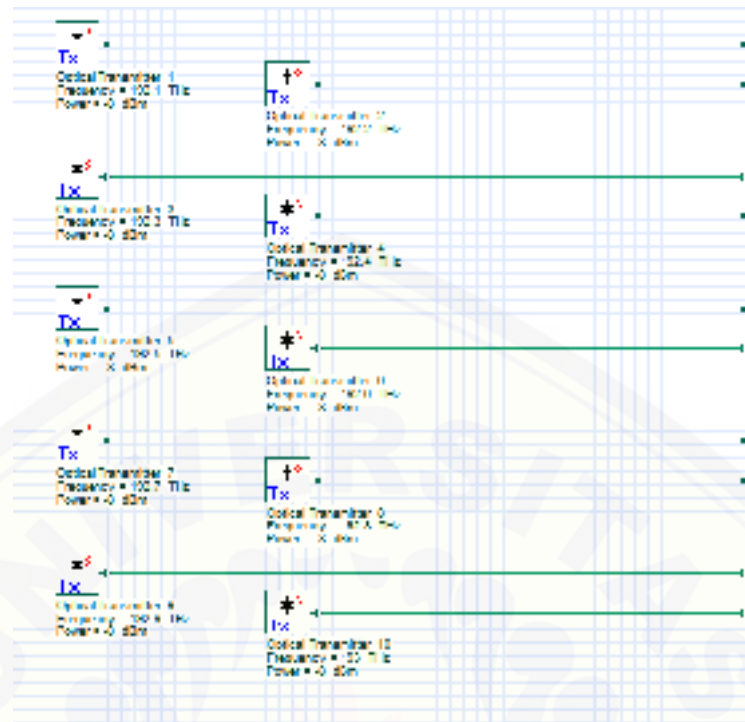
- Ardelina, D. W. 2011. *Pengaruh Alokasi Kanal dan Karakteristik Serat Optis Terhadap Besarnya Efek Four Wave Mixing (FWM) dalam Komunikasi Optis*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Barrost, D.J., A.P. Almeida, F.S. Pinto, J.P. Carvalho, O. Frazao, H.M. Salgado. 2003. *Four-Wave Mixing in Photonic Crystal Fibres for Wavelength Conversion in Optical Networks*. INESC Porto.
- Bogoni, A., L. Poti. 2004. *Effective Channel Allocation to Reduce Inband FWM Crosstalk in DWDM Transmission Systems*. IEEE.
- Bogoni, A., L. Poti., A. Bononi. 2003. *Accurate Measurement of In-Band FWM Power in DWDM Systems Over Nonzero Dispersion Fibers*. IEEE.
- Firnadya, A.R., Ir. A. Hambali., A.D. Pambudi. *Analisis Efek Non Linieritas Fiber pada Link Sistem Komunikasi Serat Optik*. Bandung: Universitas Telkom
- Herdianta, F. W., Hanesman., D. Faiza. 2015. *Analisis Redaman Terhadap Performance Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) pada Sistem Komunikasi Serat Optik dengan Metode Link Power Budget di PT. Telkom Padang (Studi Kasus Link Padang – Lubuk Basung)*. Padang: Universitas Negeri Padang.
- Nasrendra, Y. 2016. *Studi Perbandingan Performansi Semiconductor Optical Amplifier dengan Erbium Doped Fiber Amplifier*. Pekanbaru: Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- Samijayani, O. N., A. Syahriar. 2008. *Aplikasi In-Line Amplifier EDFA Pada Sistem Transmisi Panjang Gelombang Tunggal dan Transmisi Berbasis WDM*. Jakarta: Universitas Al-Azhar Indonesia.
- Singh, S., A. Singh., R.S. Kaler. 2011. *Performance evaluation of EDFA, RAMAN and SOA optical amplifier for WDM systems*. India: University Patiala.

Singh, A., A.K. Sharma., T.S. Kamal., M. Sharma. *Simulative Investigations of Power Penalty for DWDM Link in the Presence of FWM*. India: National Institute of Technology.

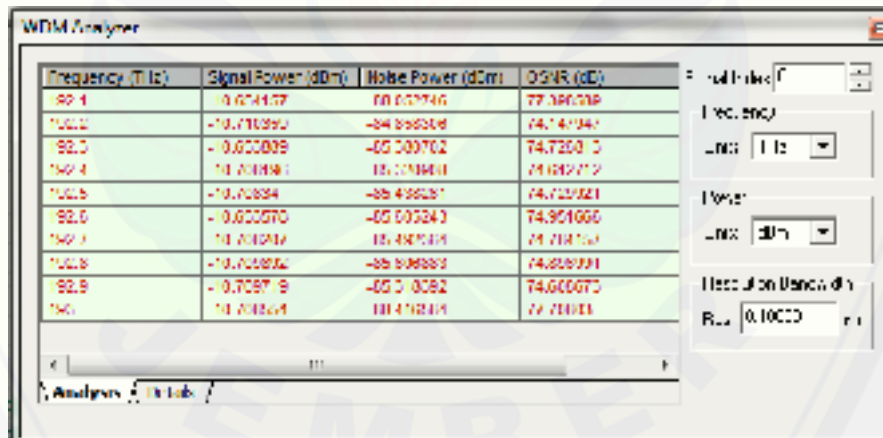
Singh, Amarpal., A.K. Sharma., T.S. Kamal. *The Effect of Phase Matching Factor on Four Wave Mixing in Optical Communication Systems: Fuzzy and Analytical Analysis*. India: National Institute of Technology.

Universitas Jember. 2016. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*. Jember : Jember University Press.

Widasari, E. W., Dr. Ir. S. H. Pramono., M. F. E. Purnomo. 2013. *Analisis Penerapan Optical Add-Drop Multiplexer (OADM) menggunakan Fiber Bragg Grating (FBG) pada Teknik Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)*. Malang: Universitas Brawijaya.



Gambar 1.2 Transmitter



	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)	OSNR (dB)
Min value	-10.710559	-84.858308	74.147947
Max Value	10.853578	81.858308	77.70803
Total	0.89241529	75.812281	
Ratio max/min	0.056781798	3.5582771	3.5582771
	(1 Hz)	(1 Hz)	(1 Hz)
Frequency at min	192.2	193	192.2
Frequency at max	192.5	192.2	193

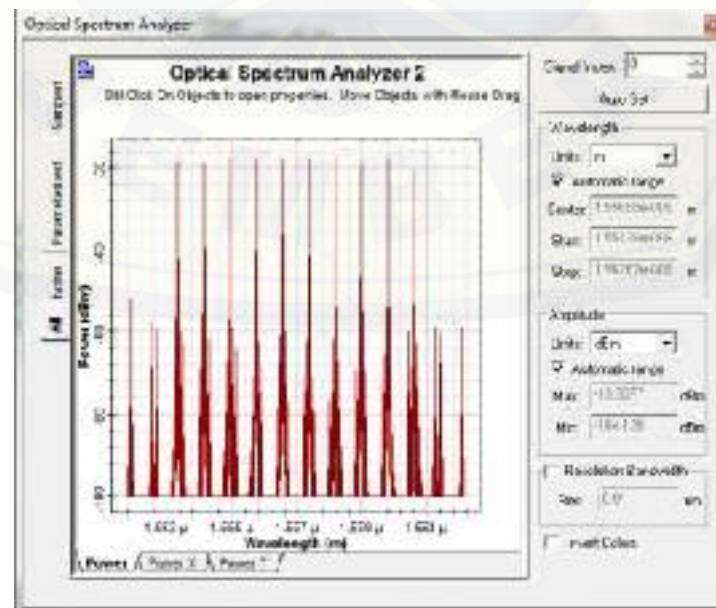
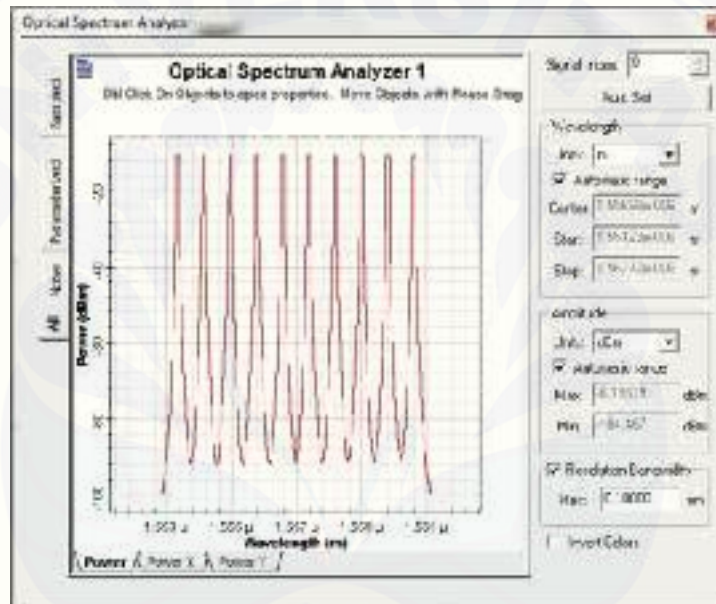
Gambar 1.3 WDM Analyzer



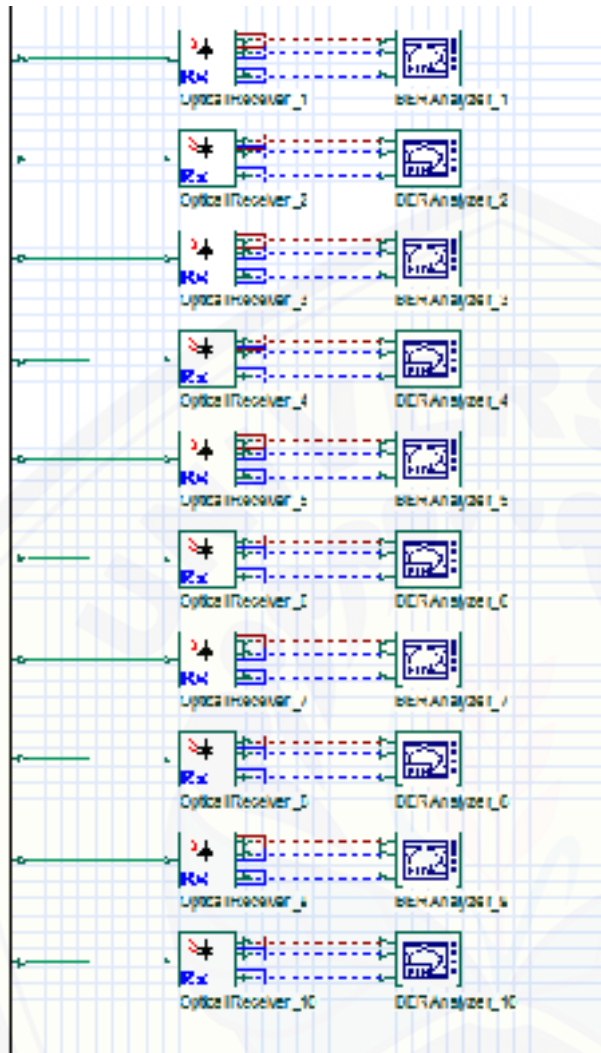
Gambar 1.4 Power Meter 1



Gambar 1.5 Power Meter 2



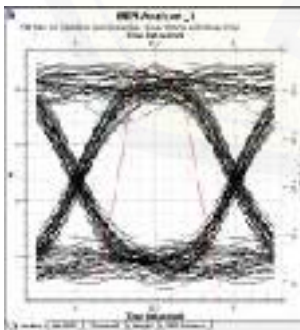
Receiver – BER Analyzer



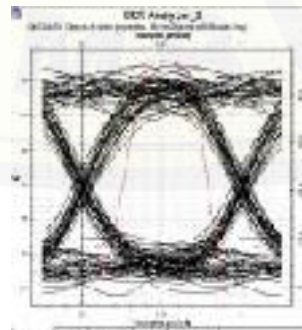
BER Analyzer 1

BER Analyzer 2

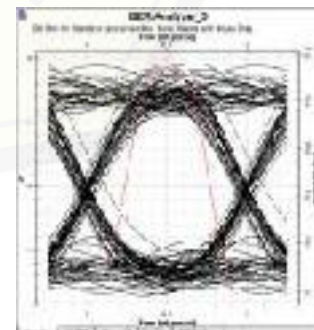
BER Analyzer 3



Max. Q Factor	43.8094
Min. BER	7.06217e-004
Eye Height	2.14667e-005
Threshold	2.11221e-005
Decision Inst.	0.46879

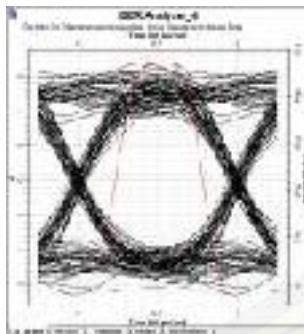


Max. Q factor	0.14665
Min. BER	6.17251e-010
Eye Height	2.14504e-005
Threshold	2.11221e-005
Decision Inst.	0.468785



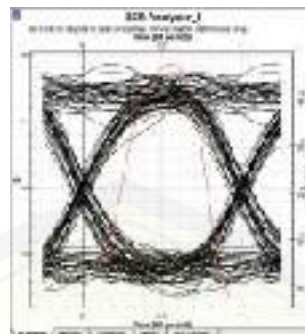
Max. Q factor	0.05613
Min. BER	1.02276e-010
Eye Height	2.14702e-005
Threshold	2.11221e-005
Decision Inst.	0.46883

BER Analyzer 4



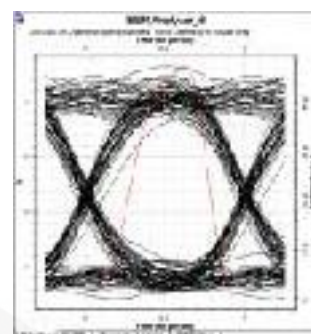
Max. Q Factor	0.61751
Min. BER	1.18954e-007
Eye Height	2.55000e-009
Threshold	1.57700e-008
Decision Incl.	0.50700

BER Analyzer 5



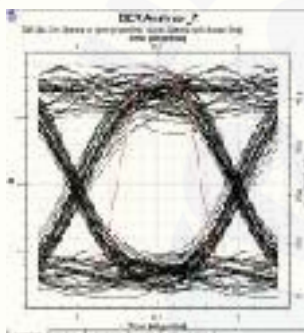
Max. Q Factor	0.71879
Min. BER	1.11500e-006
Eye Height	2.42000e-009
Threshold	2.24100e-008
Decision Incl.	0.50700

BER Analyzer 6



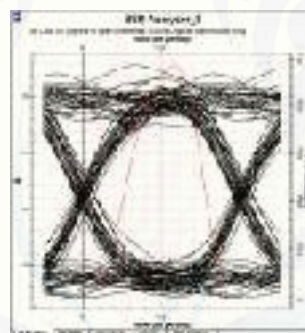
Max. Q Factor	1.02897
Min. BER	2.00000e-007
Eye Height	2.55000e-009
Threshold	1.58500e-008
Decision Incl.	0.50700

BER Analyzer 7



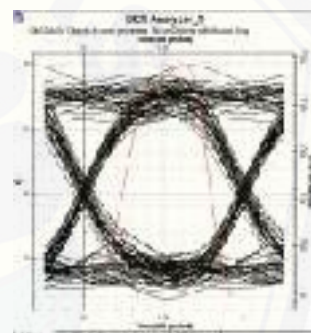
Max. Q Factor	2.17324
Min. BER	4.07870e-007
Eye Height	2.37000e-009
Threshold	1.10000e-008
Decision Incl.	0.48200

BER Analyzer 8



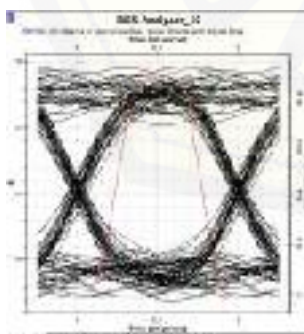
Max. Q Factor	0.11904
Min. BER	1.99100e-004
Eye Height	2.22700e-009
Threshold	2.48500e-008
Decision Incl.	0.50700

BER Analyzer 9



Max. Q Factor	0.28901
Min. BER	1.75000e-009
Eye Height	2.40000e-009
Threshold	2.71400e-008
Decision Incl.	0.50700

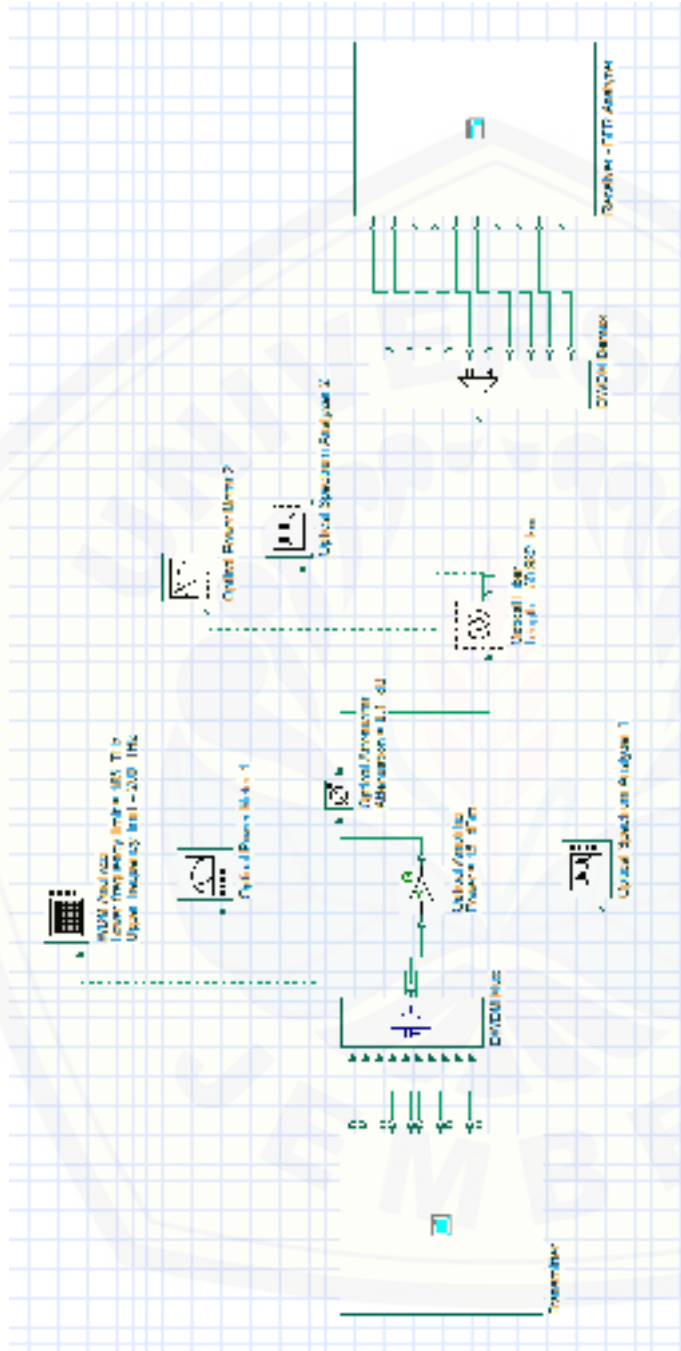
BER Analyzer 10



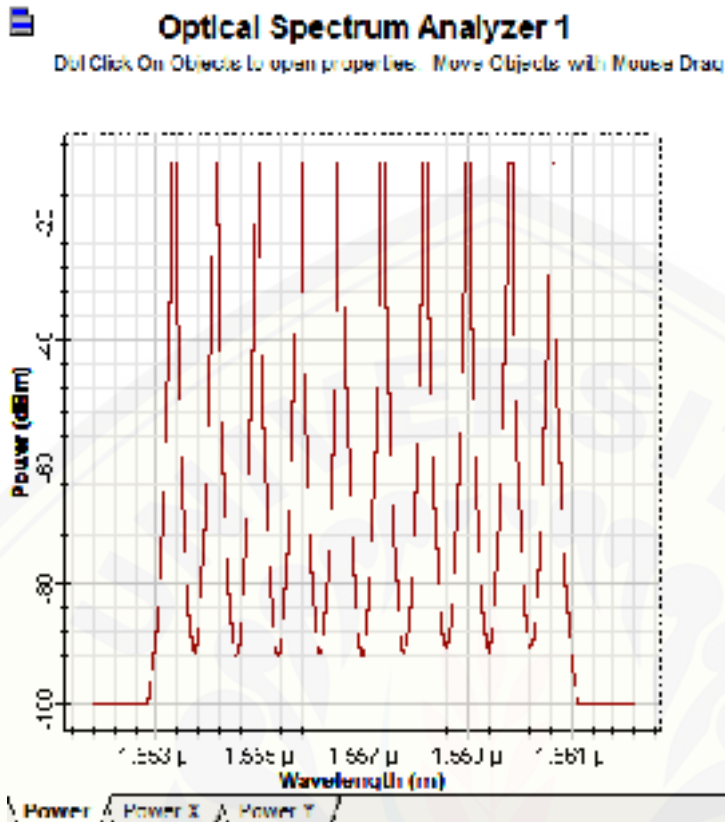
Max. Q Factor	2.24462
Min. BER	4.88870e-009
Eye Height	2.00000e-009
Threshold	2.28000e-008
Decision Incl.	0.50700

1.1.2 HUT Jember – HUT Puger Jalur KA Port 4

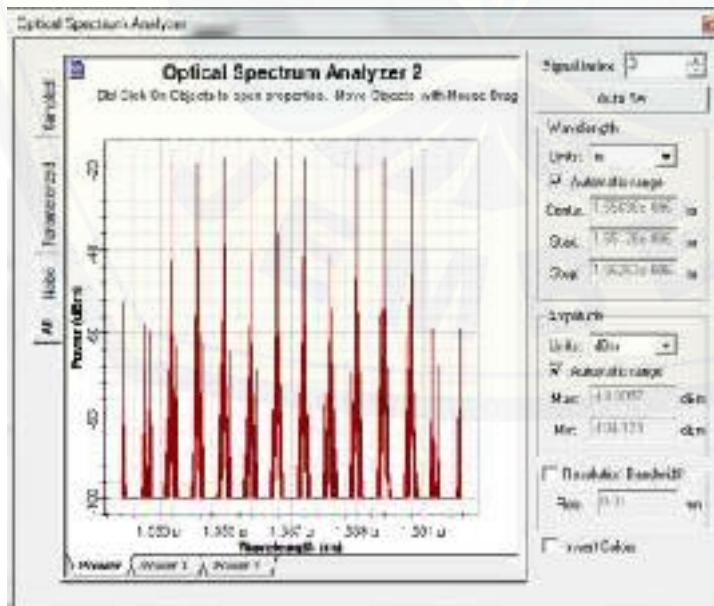
(Dispersi = 4, daya input = -8 dBm)



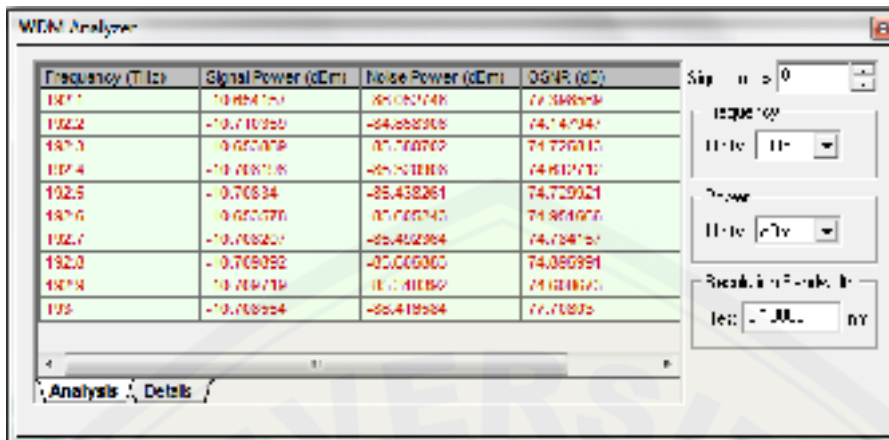
Optical Spectrum Analyzer 1



Optical Spectrum Analyzer 2



WDM Analyzer



	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)	OSNR (dB)
Min value	-10.710359	-88.418584	74.147947
Max Value	-10.853578	-84.853908	77.70803
Total	0.89211528	75.812291	
Ratio max/min	0.958781718	3.5582771	3.5582771
	[dB]	[dB]	[dB]
Frequency at min	192.2	192	192.2
Frequency at max	192.8	192.2	193

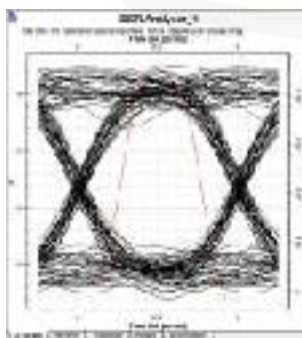
Power Meter 1



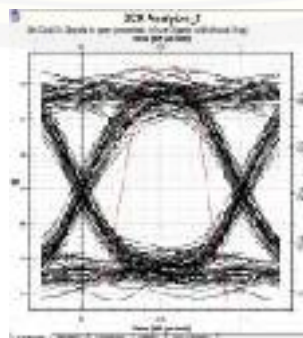
Power Meter 2



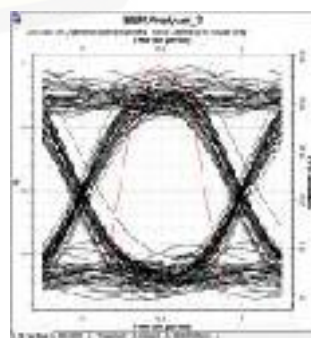
BER Analyzer 1



BER Analyzer 2

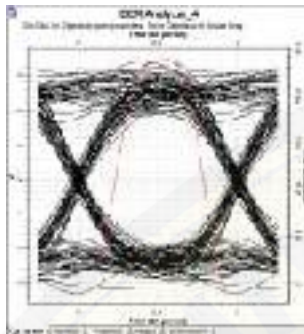


BER Analyzer 3



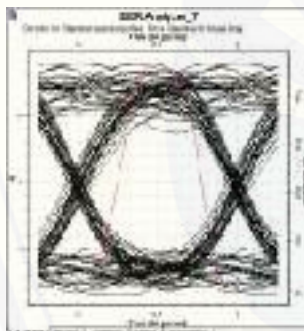
Max. Q Factor	10.000
Min. BER	1.17170e-018
Eye Height	2.58261e-003
Threshold	2.47345e-003
Decision Inst.	0.45000

BER Analyzer 4



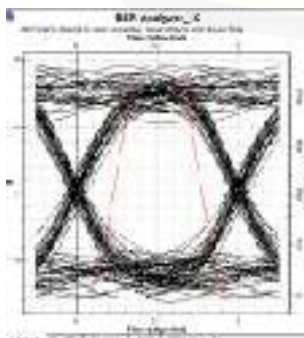
Max. Q Factor	1.19000
Min. BER	1.17170e-018
Eye Height	2.58261e-003
Threshold	1.58079e-003
Decision Inst.	0.55000

BER Analyzer 7



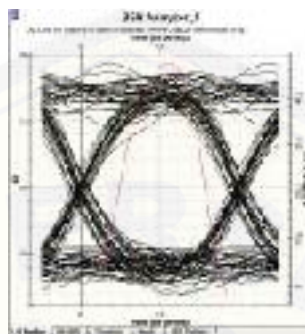
Max. Q Factor	0.57000
Min. BER	4.74110e-018
Eye Height	2.58261e-003
Threshold	1.52168e-003
Decision Inst.	0.48000

BER Analyzer 10



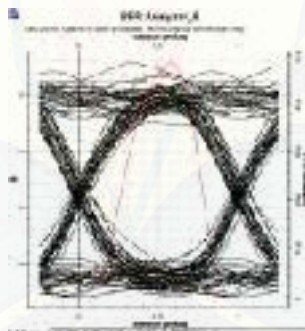
Max. Q Factor	0.45100
Min. BER	5.12710e-018
Eye Height	2.58261e-003
Threshold	1.11169e-003
Decision Inst.	0.42188

BER Analyzer 5



Max. Q Factor	0.78000
Min. BER	1.17170e-018
Eye Height	2.42740e-003
Threshold	2.21228e-003
Decision Inst.	0.55000

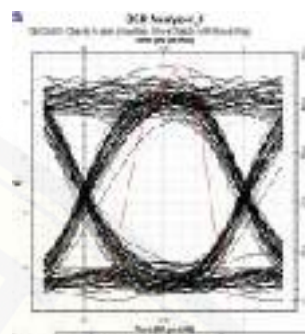
BER Analyzer 8



Max. Q Factor	10.1000
Min. BER	1.00700e-004
Eye Height	2.47345e-003
Threshold	0.19910e-003
Decision Inst.	0.55000

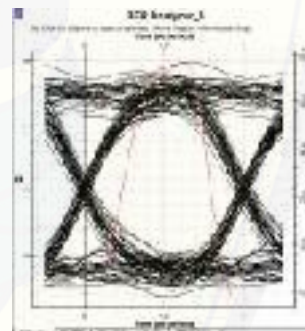
Max. Q Factor	1.00000
Min. BER	2.17170e-018
Eye Height	2.47345e-003
Threshold	2.40000e-003
Decision Inst.	0.45000

BER Analyzer 6



Max. Q Factor	10.3000
Min. BER	2.17170e-018
Eye Height	2.00000e-003
Threshold	1.41169e-003
Decision Inst.	0.55000

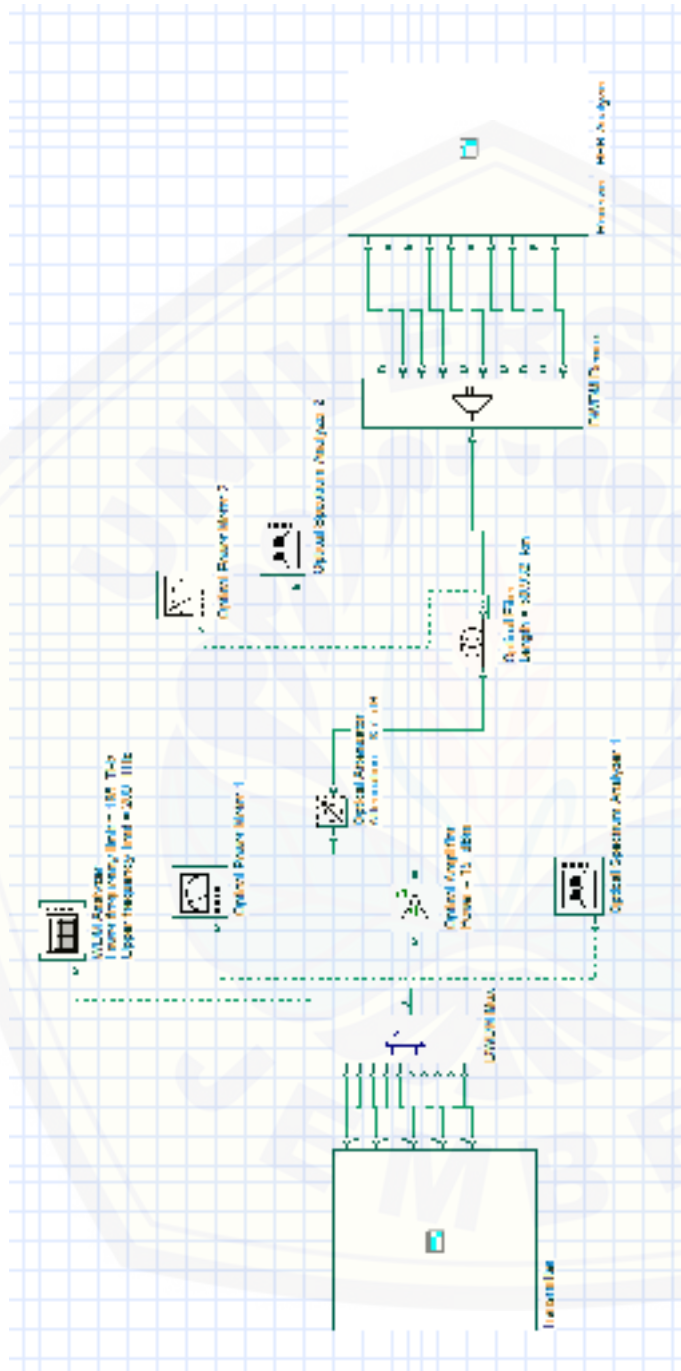
BER Analyzer 9



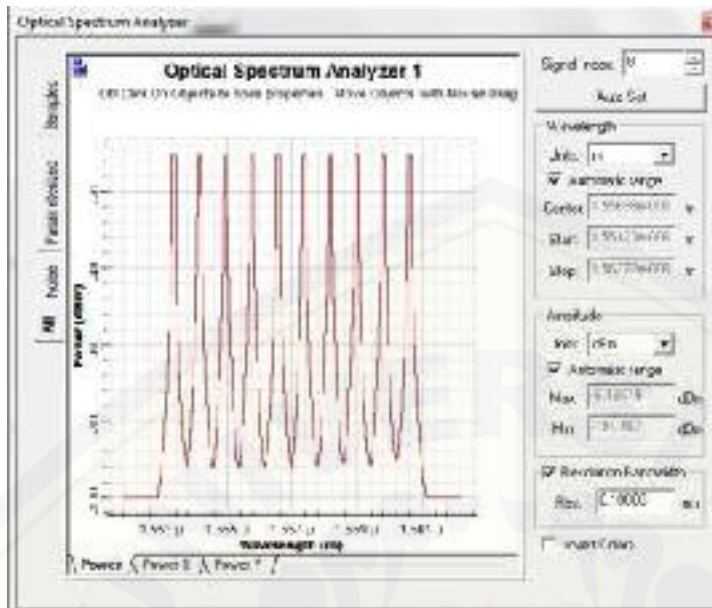
Max. Q Factor	0.95000
Min. BER	1.17170e-018
Eye Height	2.42740e-003
Threshold	2.17188e-003
Decision Inst.	0.61750

1.1.3 HUT Jember – HUT Puger Jalur KA Port 7 dan 8

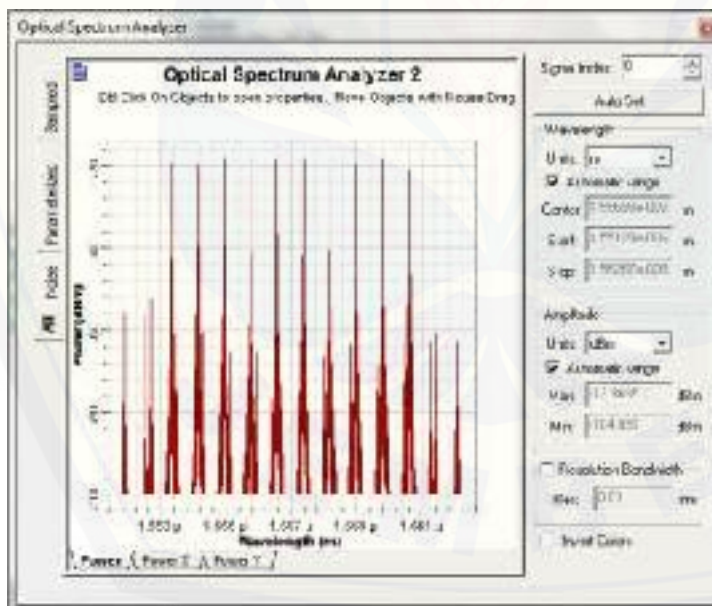
(Dispersi = 4, daya input = -8 dBm)



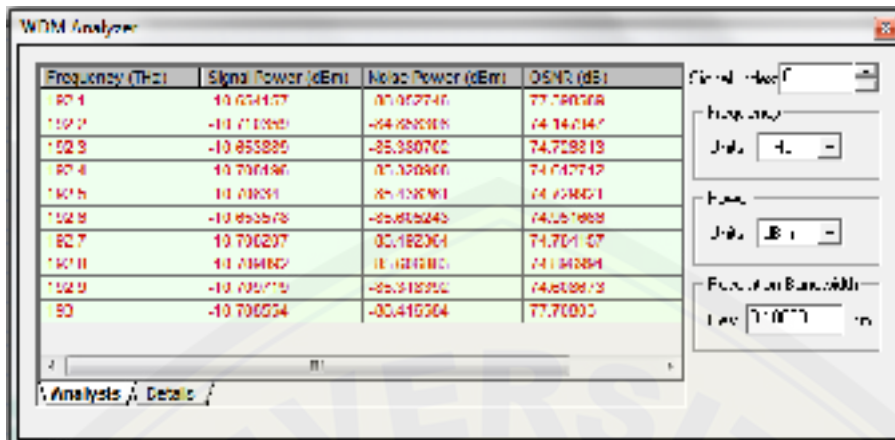
Optical Spectrum Analyzer 1



Optical Spectrum Analyzer 2



WDM Analyzer



	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)	OSNR (dB)
Min value	10.710359	88.416584	74.147847
Max Value	10.853578	84.858306	77.70803
Total	-0.60241525	-75.812201	
Ratio max/min	0.056771790	0.5502771	0.5502771
	(THz)	(THz)	(THz)
Frequency at min	192.2	193	192.2
Frequency at max	192.6	192.2	193

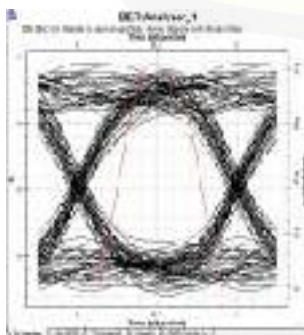
Power Meter 1



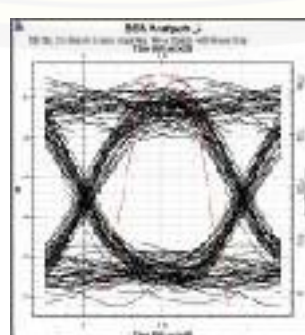
Power Meter 2



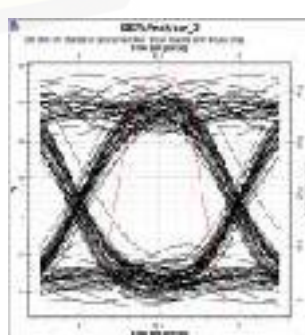
BER Analyzer 1



BER Analyzer 2

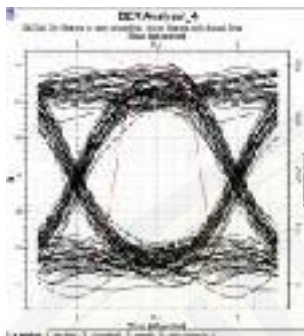


BER Analyzer 3



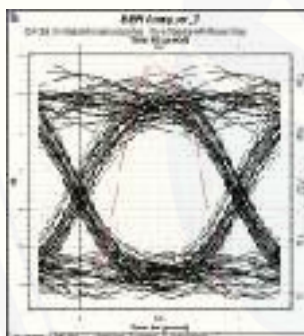
Max. Q Factor	7.4019
Min. BER	4.5115e-015
Eye Height	2.11059e-002
Threshold	1.00043e-005
Decision Invt.	0.49175

BER Analyzer 4



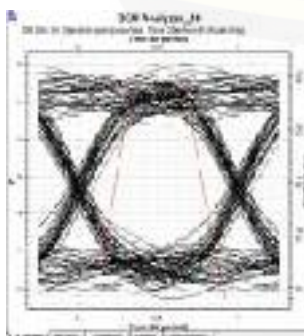
Max. Q Factor	8.00326
Min. BER	4.00703e-010
Eye Height	1.90006e-005
Threshold	1.40000e-006
Decision Invt.	0.49126

BER Analyzer 7



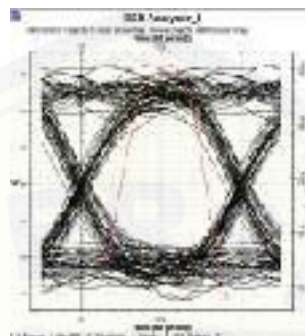
Max. Q Factor	7.70011
Min. BER	4.20000e-015
Eye Height	1.00000e-005
Threshold	1.00000e-005
Decision Invt.	0.49101

BER Analyzer 10



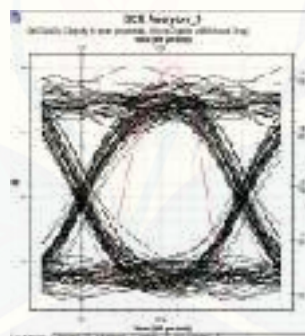
Max. Q Factor	7.5524
Min. BER	4.50004e-014
Eye Height	1.90000e-005
Threshold	1.00000e-005
Decision Invt.	0.47924

BER Analyzer 5



Max. Q Factor	0.20759
Min. BER	6.00000e-010
Eye Height	2.00000e-005
Threshold	2.00000e-005
Decision Invt.	0.50000

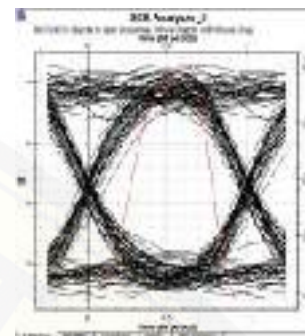
BER Analyzer 8



Max. Q Factor	0.00002
Min. BER	6.00000e-010
Eye Height	2.00000e-005
Threshold	1.00000e-005
Decision Invt.	0.50000

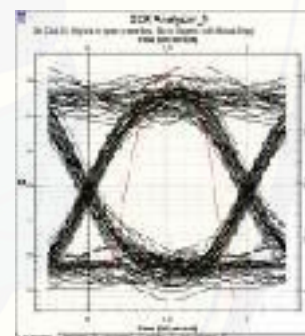
Max. Q Factor	7.70048
Min. BER	4.50000e-015
Eye Height	1.00000e-005
Threshold	1.00000e-005
Decision Invt.	0.49048

BER Analyzer 6



Max. Q Factor	8.00000
Min. BER	4.00000e-010
Eye Height	1.90000e-005
Threshold	1.40000e-006
Decision Invt.	0.49126

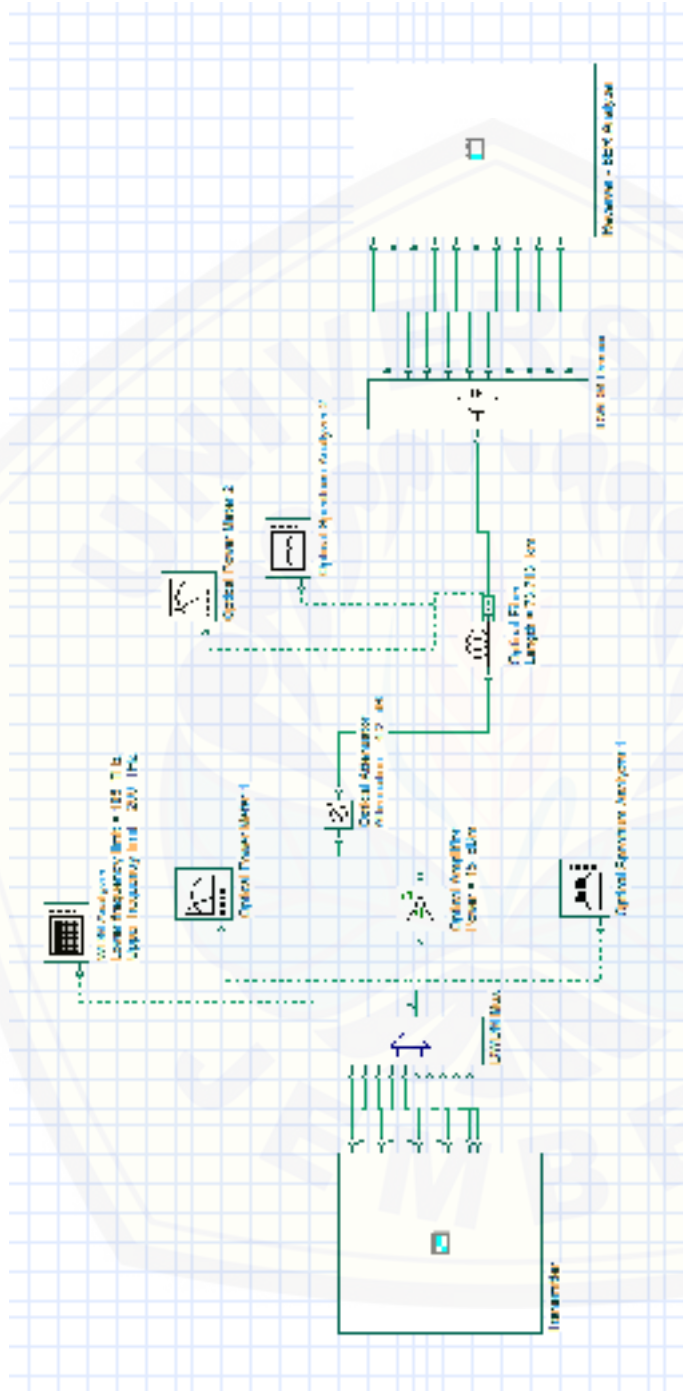
BER Analyzer 9



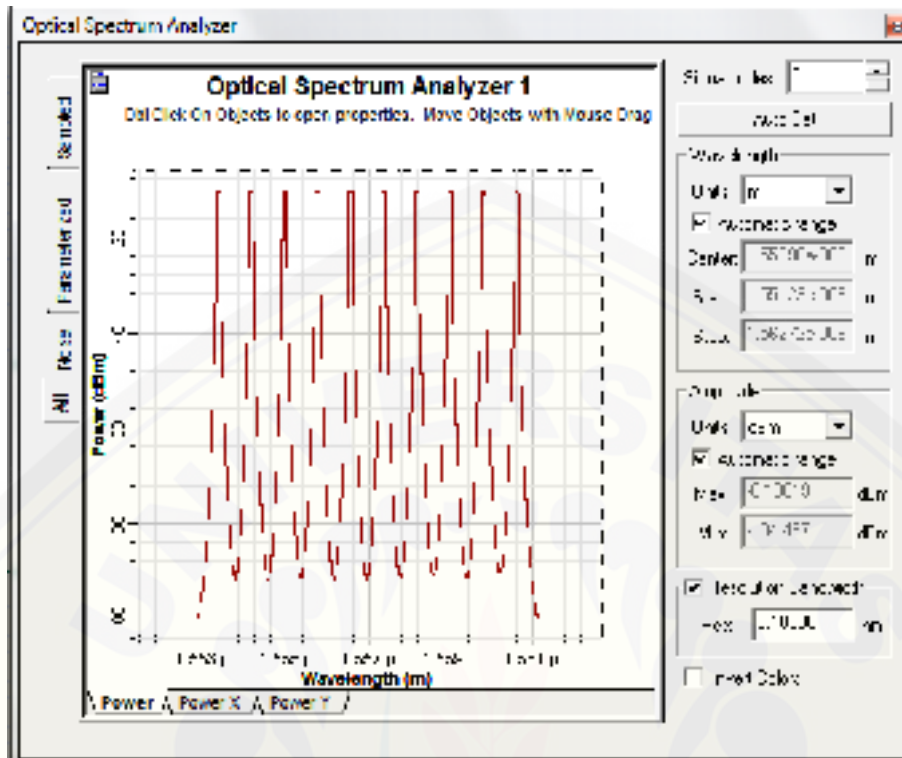
Max. Q Factor	8.00001
Min. BER	4.00000e-010
Eye Height	1.90000e-005
Threshold	1.40000e-006
Decision Invt.	0.49126

1.1.4 HUT Jember – HUT Klakah Jalur PU Port 3 dan 4

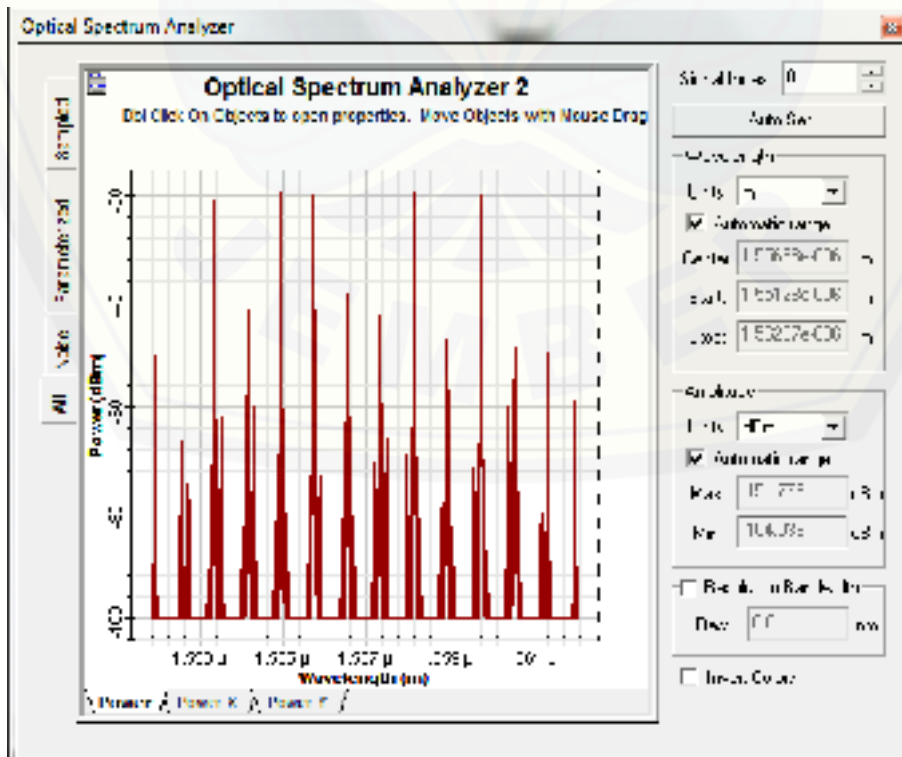
(Dispersi = 4, daya input = -8 dBm)



Optical Spectrum Analyzer 1



Optical Spectrum Analyzer 2



WDM Analyzer



	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)	OSNR (dB)
Min value	-10.710359	-88.418584	74.147947
Max Value	-10.653570	-84.650000	77.70805
Total	-10.6924729	-75.012291	
Ratio max/min	0.026701790	0.5502771	0.5502771
	(THz)	(THz)	(THz)
Frequency at min	192.2	193	192.2
Frequency at max	192.8	192.2	193

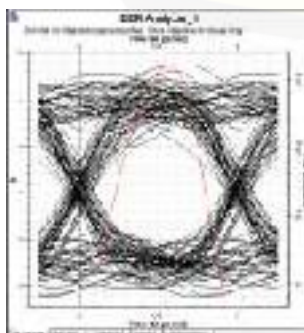
Power Meter 1



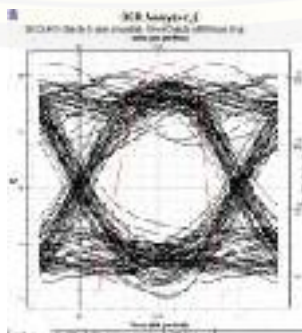
Power Meter 2



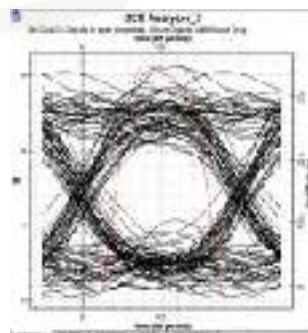
BER Analyzer 1



BER Analyzer 2

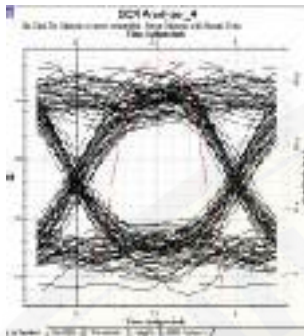


BER Analyzer 3



Max. Q factor	6.7012
Min. BER	2.71625e-010
Eye Height	1.12174e-002
Threshold	1.12643e-002
Decision Inst.	0.49250

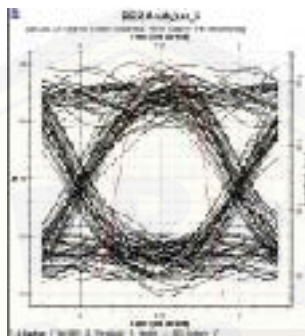
BER Analyzer 4



Max. Q factor	6.7012
Min. BER	2.71625e-010
Eye Height	1.12174e-002
Threshold	1.12643e-002
Decision Inst.	0.49250

Max. Q factor	6.21142
Min. BER	2.62974e-010
Eye Height	1.12674e-002
Threshold	1.12625e-002
Decision Inst.	0.49250

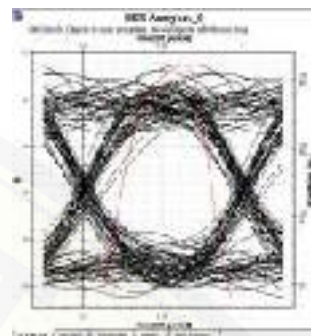
BER Analyzer 5



Max. Q factor	6.0122
Min. BER	2.62974e-010
Eye Height	1.12293e-002
Threshold	1.12745e-002
Decision Inst.	0.49247

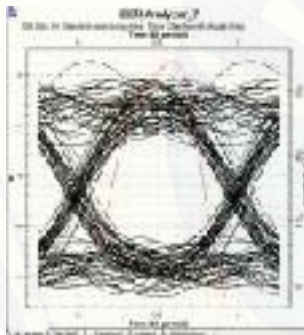
Max. Q factor	5.4518
Min. BER	1.12124e-007
Eye Height	8.12124e-002
Threshold	1.12272e-002
Decision Inst.	0.49257

BER Analyzer 6



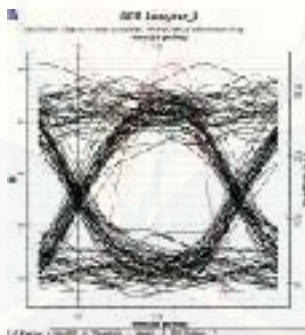
Max. Q factor	5.73007
Min. BER	7.12124e-010
Eye Height	1.12174e-002
Threshold	1.12124e-002
Decision Inst.	0.621

BER Analyzer 7



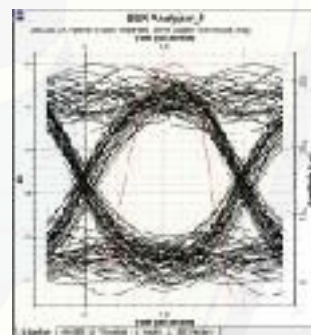
Max. Q factor	6.12124
Min. BER	1.12124e-010
Eye Height	1.12124e-002
Threshold	1.12643e-002
Decision Inst.	0.49254

BER Analyzer 8



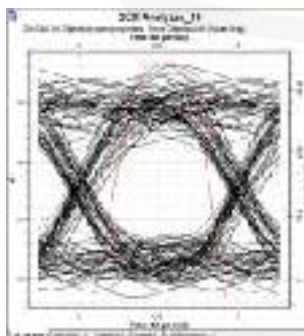
Max. Q factor	6.12124
Min. BER	5.12124e-010
Eye Height	5.12124e-002
Threshold	1.12124e-002
Decision Inst.	0.49250

BER Analyzer 9



Max. Q factor	5.12124
Min. BER	1.12124e-010
Eye Height	1.12124e-002
Threshold	1.12643e-002
Decision Inst.	0.49257

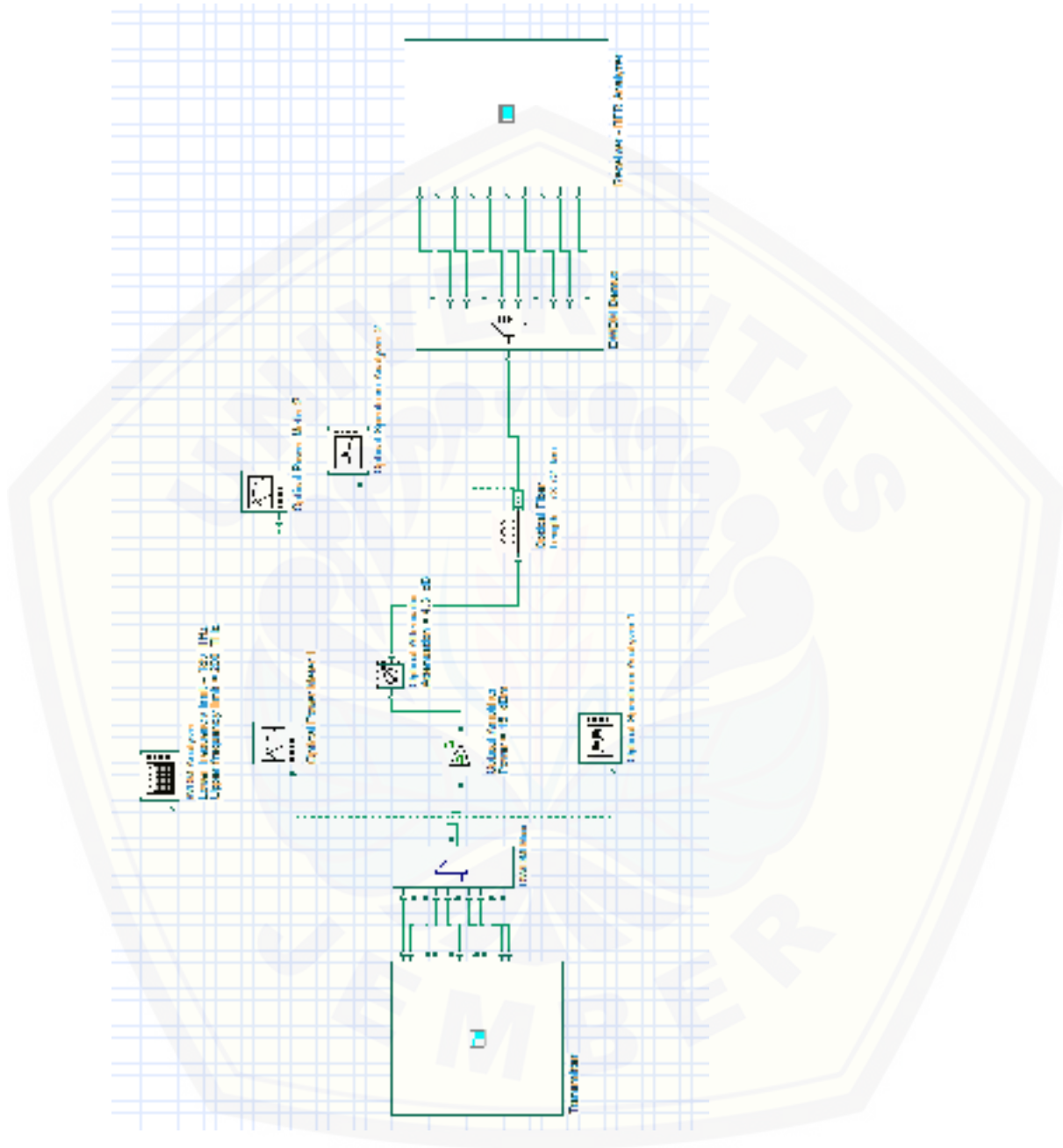
BER Analyzer 10



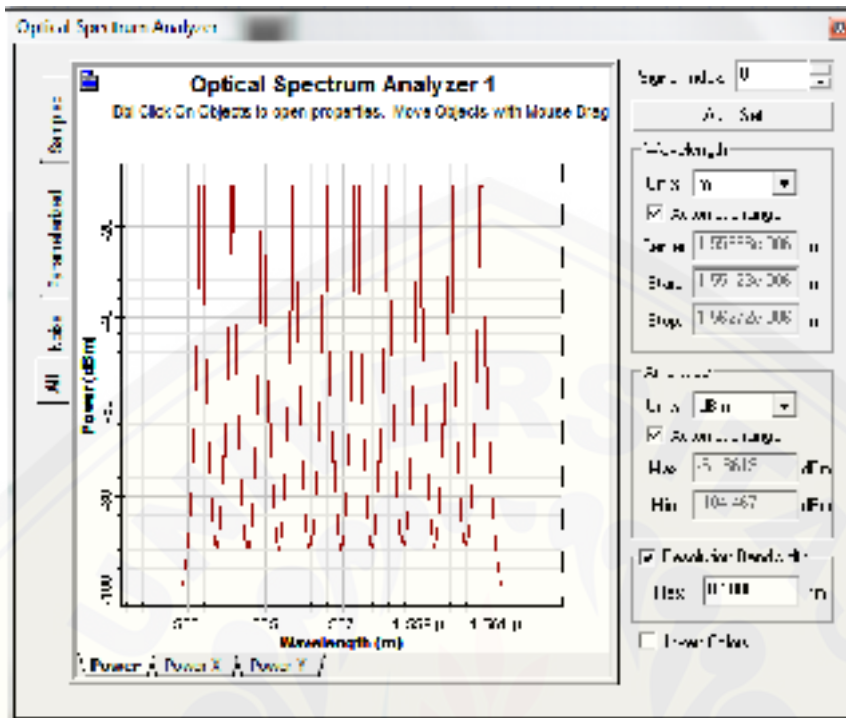
Max. Q factor	5.05124
Min. BER	2.12124e-009
Eye Height	1.12124e-002
Threshold	1.12124e-002
Decision Inst.	0.49262

1.1.5 HUT Jember – HUT Klakah Jalur PU Port 7

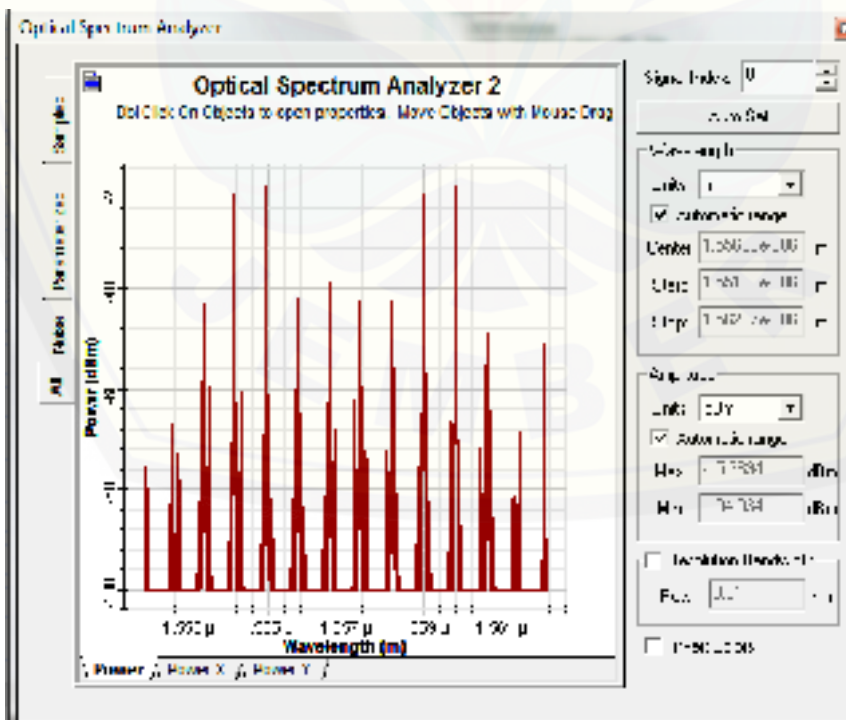
(Dispersi = 4, daya input = -8 dBm)



Optical Spectrum Analyzer 1



Optical Spectrum Analyzer 2



WDM Analyzer

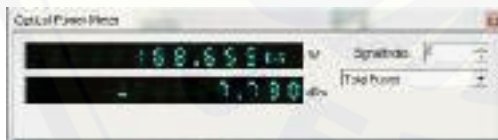


	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)	OSNR (dB)
Min value	-10.710279	-84.416704	74.147947
Max Value	-10.653578	-84.858306	77.702003
Total	-0.60241520	-75.812291	
Ratio maximum	0.056781708	3.5582771	3.5582771
	(THz)	(THz)	(THz)
Frequency at min	192.2	193	192.2
Frequency at max	192.6	192.2	193

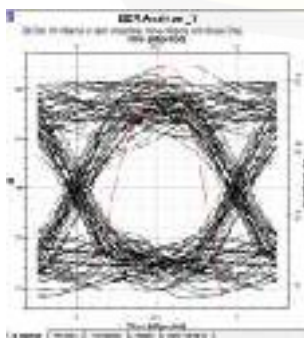
Power Meter 1



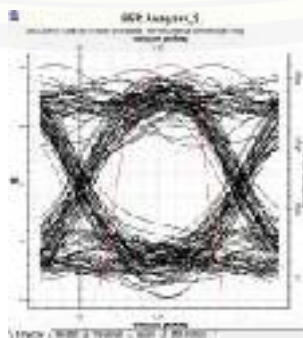
Power Meter 2



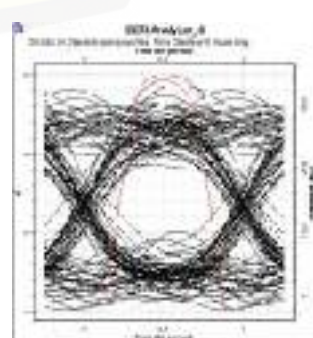
BER Analyzer 1



BER Analyzer 2

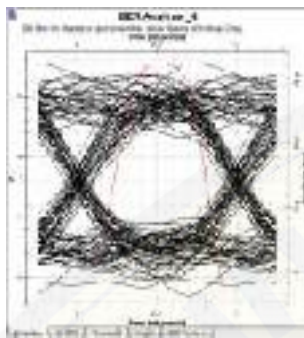


BER Analyzer 3



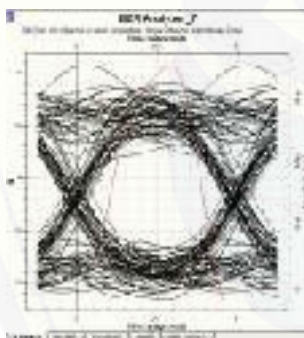
Max. Q Factor	6.15000
Min. BER	1.21451e-005
Eye Height	1.25713e-005
Threshold	1.27571e-005
Decision Incl.	0.274219

BER Analyzer 4



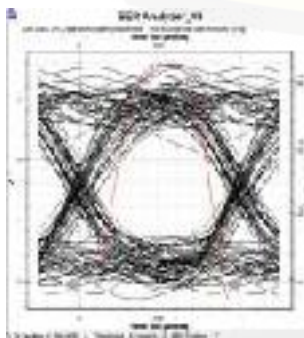
Max. Q Factor	6.15000
Min. BER	1.21451e-005
Eye Height	1.25713e-005
Threshold	1.27571e-005
Decision Incl.	0.274219

BER Analyzer 7



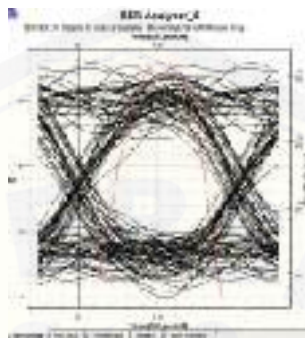
Max. Q Factor	6.15000
Min. BER	1.21451e-005
Eye Height	1.25713e-005
Threshold	1.27571e-005
Decision Incl.	0.274219

BER Analyzer 10



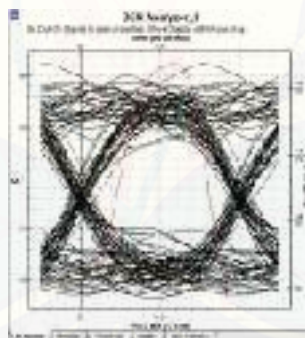
Max. Q Factor	6.00281
Min. BER	7.12250e-006
Eye Height	1.24921e-005
Threshold	1.46251e-005
Decision Incl.	0.578531

BER Analyzer 5



Max. Q Factor	6.00281
Min. BER	7.12250e-006
Eye Height	1.24921e-005
Threshold	1.46251e-005
Decision Incl.	0.578531

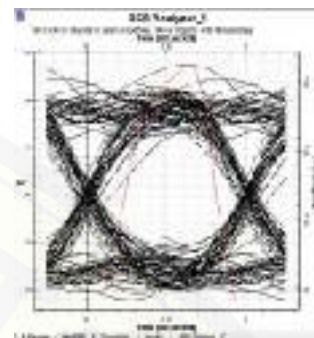
BER Analyzer 8



Max. Q Factor	6.00281
Min. BER	7.12250e-006
Eye Height	1.24921e-005
Threshold	1.46251e-005
Decision Incl.	0.578531

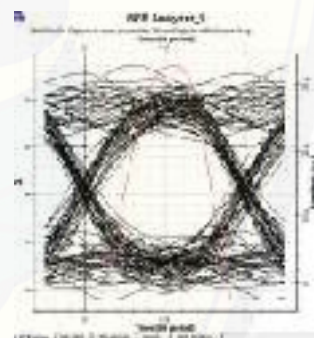
Max. Q Factor	497674
Min. BER	1.12000e-007
Eye Height	3.06443e-005
Threshold	1.26000e-005
Decision Incl.	0.427134

BER Analyzer 6



Max. Q Factor	6.14500
Min. BER	7.61136e-006
Eye Height	1.26000e-005
Threshold	1.21709e-005
Decision Incl.	0.438718

BER Analyzer 9

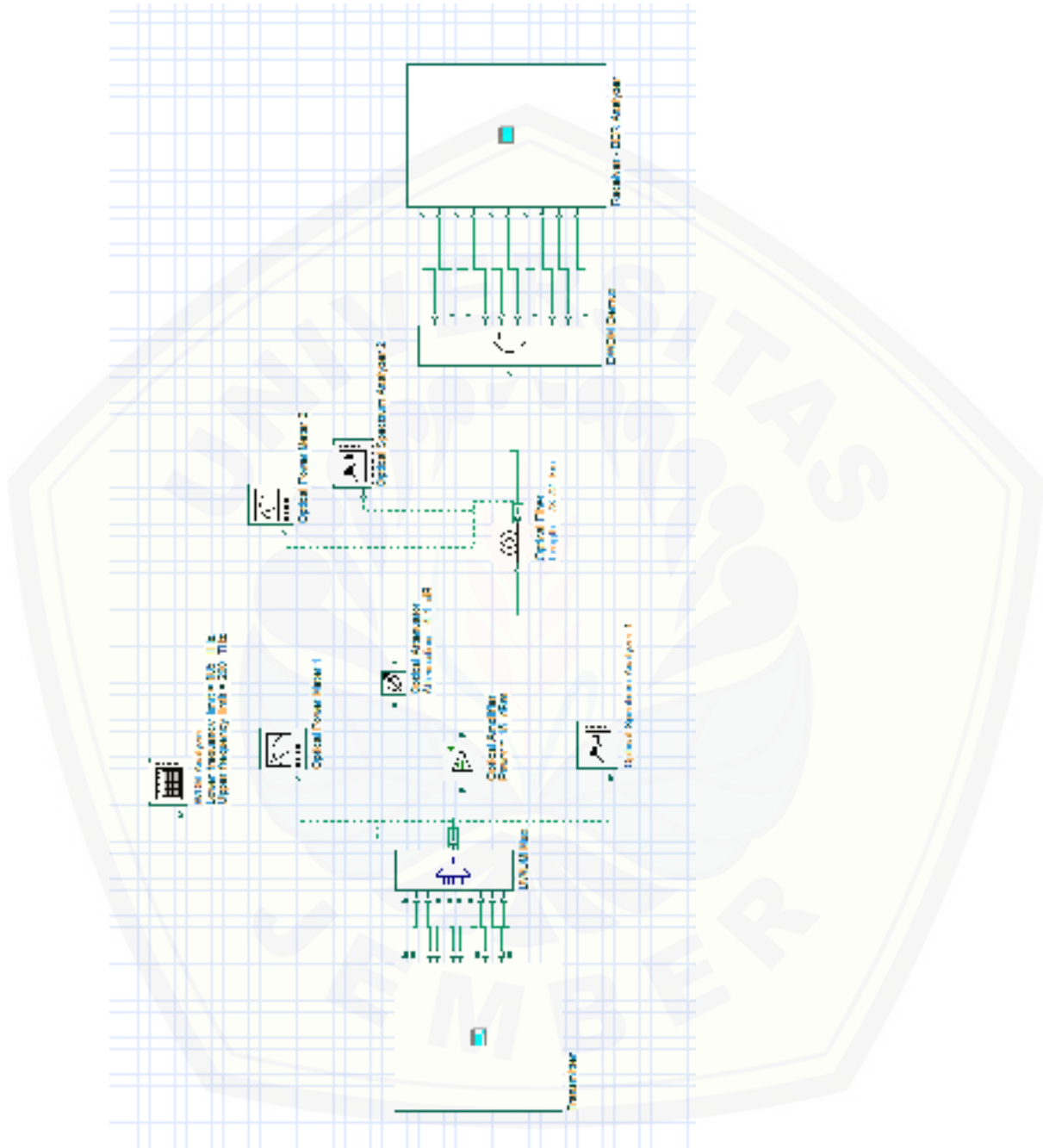


Max. Q Factor	6.13000
Min. BER	7.11296e-006
Eye Height	1.21709e-005
Threshold	1.18774e-005
Decision Incl.	0.530781

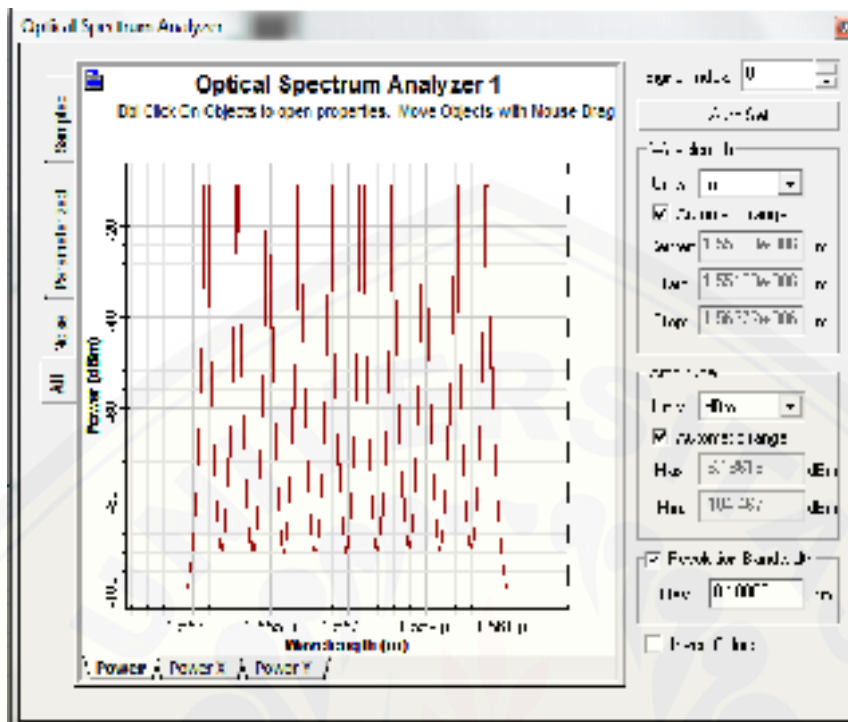
Max. Q Factor	6.00000
Min. BER	1.16153e-005
Eye Height	1.15153e-005
Threshold	1.22000e-005
Decision Incl.	0.461251

1.1.6 HUT Jember – HUT Klakah Jalur PU Port 8

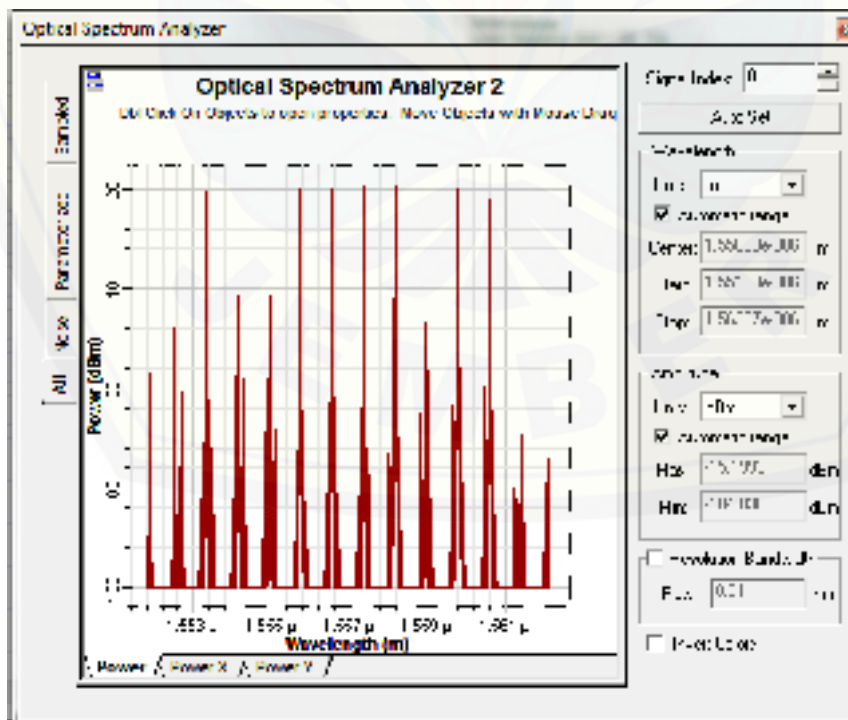
(Dispersi = 4, daya input = -8 dBm)



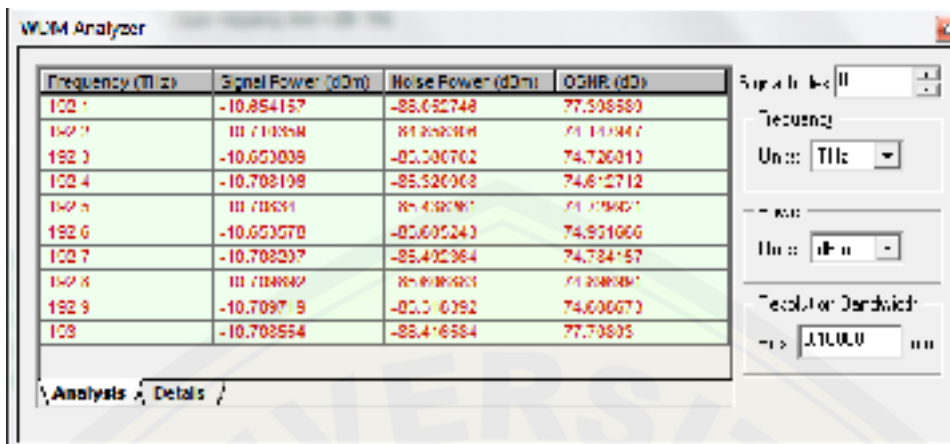
Optical Spectrum Analyzer 1



Optical Spectrum Analyzer 2



WDM Analyzer



	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)	OSNR (dB)
Min value	-10.854157	-88.632748	77.778591
Max Value	-10.653070	-85.300762	74.652274
Total	-0.89241529	-75.812291	
Ratio maximum	0.056781798	3.5582771	3.5582771
	(THz)	(THz)	(THz)
Frequency at min	192.2	193	192.2
Frequency at max	192.6	192.2	193

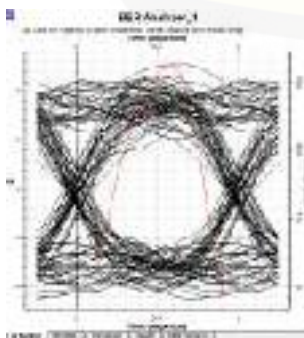
Power Meter 1



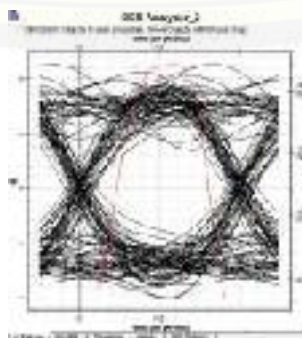
Power Meter 2



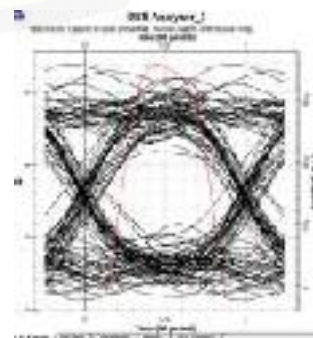
BER Analyzer 1



BER Analyzer 2

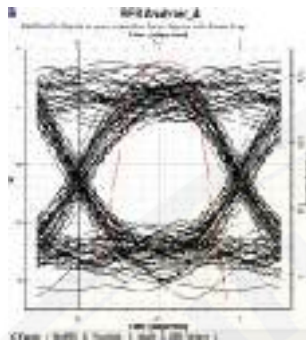


BER Analyzer 3



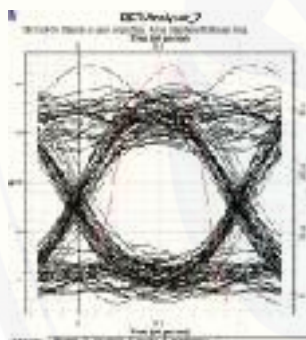
Max. Q Factor	0.5696
Min. BER	1.2691E-005
Eye Height	1.2012E-005
Threshold	1.2162E-005
Decision Invt.	0.514279

BER Analyzer 4



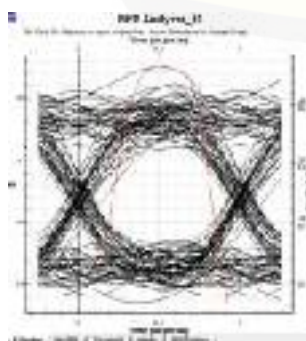
Max. Q Factor	0.73052
Min. BER	1.1949E-005
Eye Height	1.1271E-005
Threshold	1.1224E-005
Decision Invt.	0.498714

BER Analyzer 7



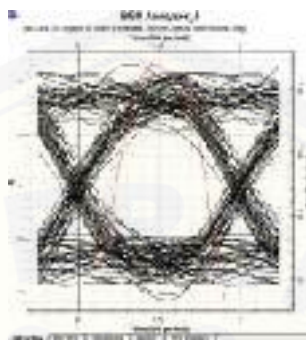
Max. Q Factor	0.72046
Min. BER	8.8334E-007
Eye Height	1.2321E-005
Threshold	1.2246E-005
Decision Invt.	0.476215

BER Analyzer 10



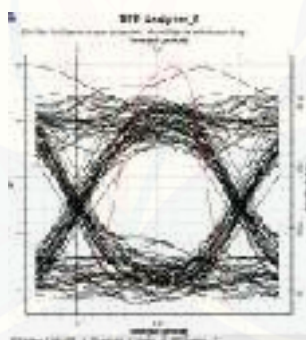
Max. Q Factor	0.7514
Min. BER	1.2381E-005
Eye Height	1.2204E-005
Threshold	1.1864E-005
Decision Invt.	0.527687

BER Analyzer 5



Max. Q Factor	0.52974
Min. BER	0.2940E-005
Eye Height	1.1190E-005
Threshold	1.1438E-005
Decision Invt.	0.48812

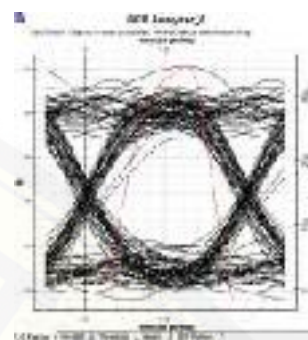
BER Analyzer 8



Max. Q Factor	0.60294
Min. BER	1.2242E-005
Eye Height	1.2450E-005
Threshold	1.4196E-005
Decision Invt.	0.49775

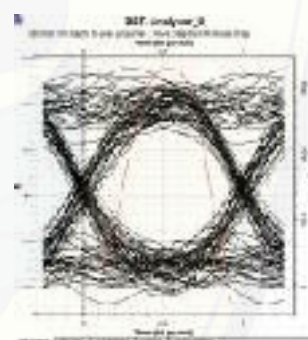
Max. Q Factor	0.61729
Min. BER	3.4822E-005
Eye Height	1.2724E-005
Threshold	1.1921E-005
Decision Invt.	0.44356

BER Analyzer 6



Max. Q Factor	1.04879
Min. BER	0.0225E-007
Eye Height	1.2381E-005
Threshold	1.4175E-005
Decision Invt.	0.505

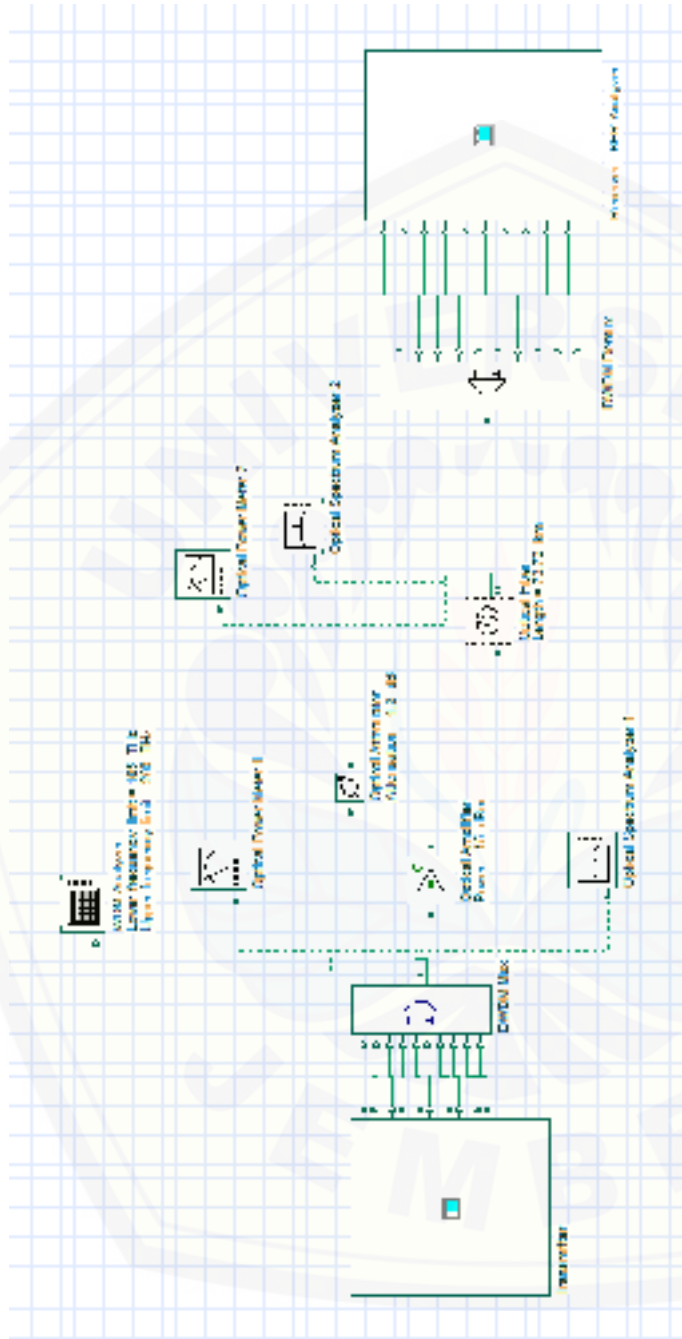
BER Analyzer 9



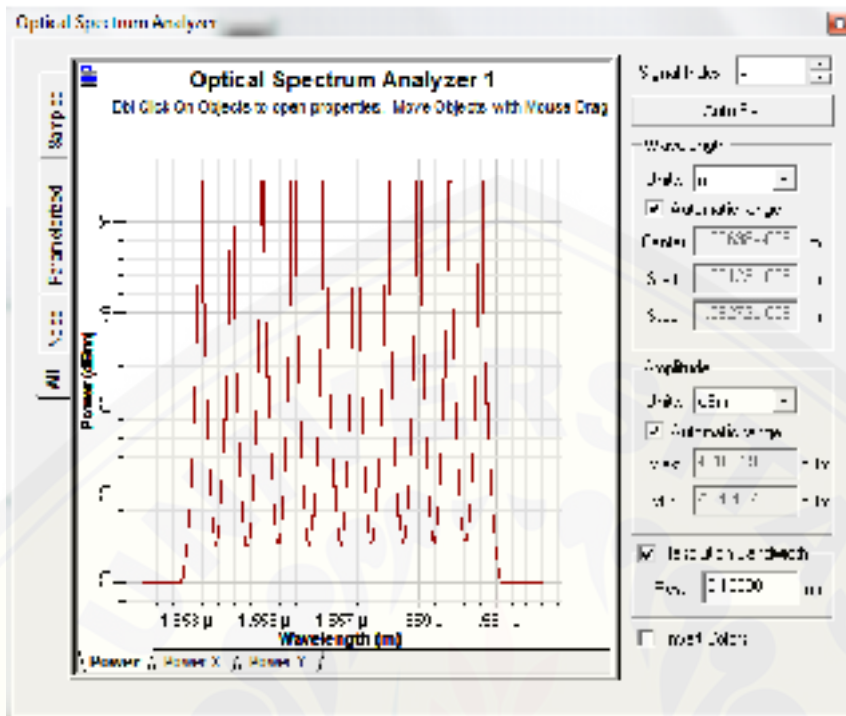
Max. Q Factor	0.18115
Min. BER	0.0224E-012
Eye Height	1.2725E-005
Threshold	1.2725E-005
Decision Invt.	0.49116

1.2 Simulasi Pengujian dengan Merubah Parameter

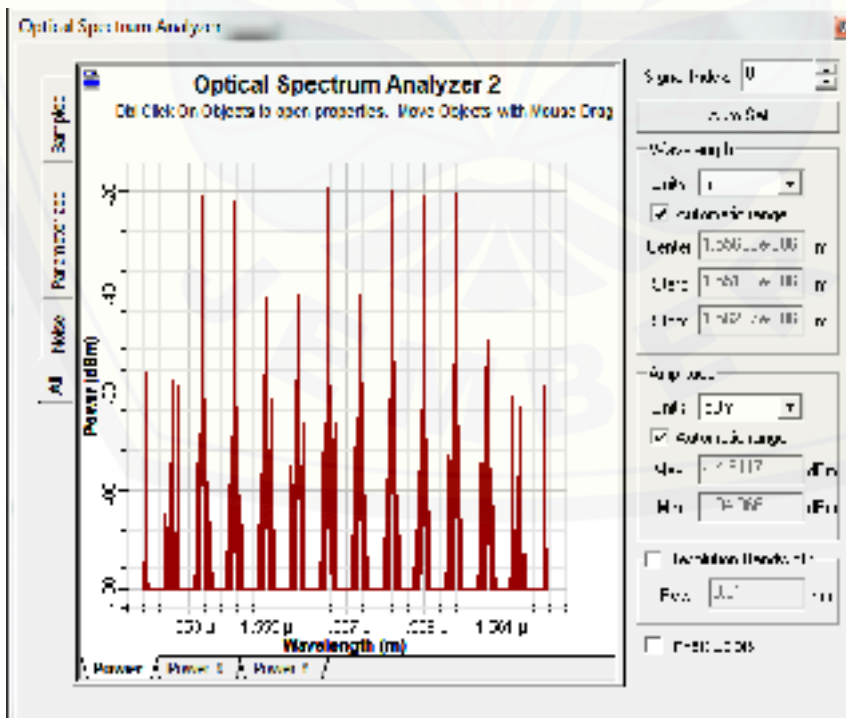
1.2.1 HUT Jember - HUT Klakah Jalur PU dengan Dispersi = 0



Spectrum Analyzer 1



Spectrum Analyzer 2



WDM Analyzer



	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)	OSNR (dB)
Min value	-10.710359	-84.858305	74.147947
Max Value	10.853578	84.858305	77.70803
Total	0.69211529	75.812291	
Ratio max/min	0.056781798	3.5582771	3.5582771
	(Hz)	(Hz)	(Hz)
Frequency at min	192.2	193	192.2
Frequency at max	192.6	192.2	193

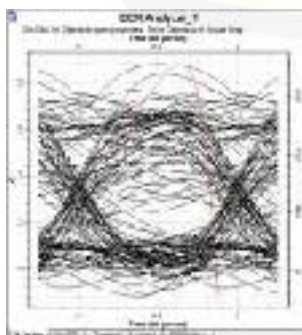
Power Meter 1



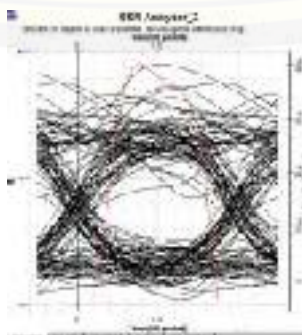
Power Meter 2



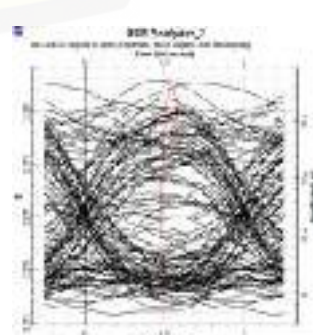
BER Analyzer 1



BER Analyzer 2

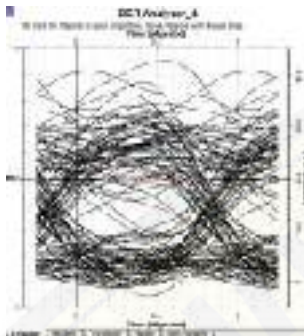


BER Analyzer 3



Max. Q Factor	2.57125
Min. BER	0.00154187
Cyc Height	-0.00000e+000
Threshold	0.00145e+000
Decision Inv.	0.50000

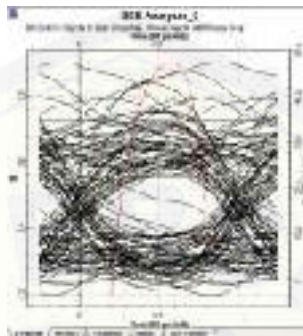
BER Analyzer 4



Max. Q Factor	0
Min. BER	1
Cyc Height	0
Threshold	0
Decision Inv.	0

Max. Q Factor	0.00000
Min. BER	4.00000e-000
Cyc Height	0.44000e+000
Threshold	1.00000e+000
Decision Inv.	0.50000

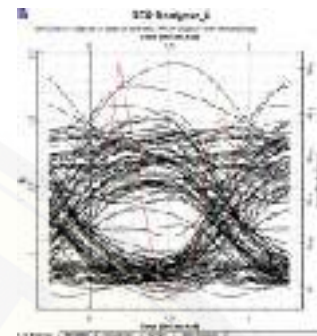
BER Analyzer 5



Max. Q Factor	0.00000
Min. BER	0.00000e+000
Cyc Height	-0.00000e+000
Threshold	0.40000e+000
Decision Inv.	0.50000

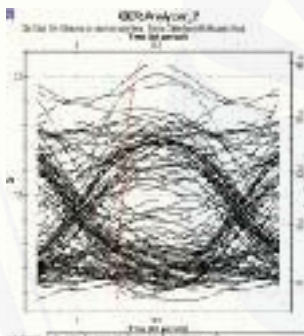
Max. Q Factor	0.00000
Min. BER	0.00000e+000
Cyc Height	-0.00000e+000
Threshold	0.00000e+000
Decision Inv.	0.50000

BER Analyzer 6



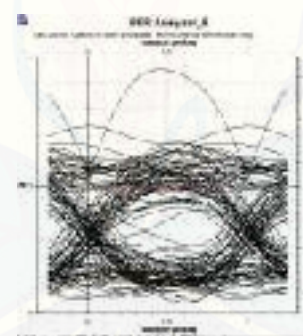
Max. Q Factor	0.00000
Min. BER	0.00000e+000
Cyc Height	-0.00000e+000
Threshold	0.00000e+000
Decision Inv.	0.50000

BER Analyzer 7



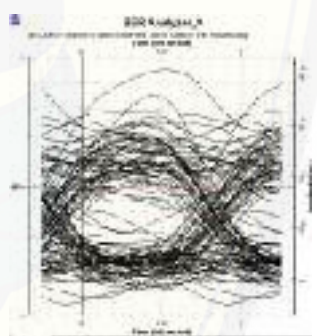
Max. Q Factor	0.00000
Min. BER	0.00000e+000
Cyc Height	-0.00000e+000
Threshold	0.00000e+000
Decision Inv.	0.50000

BER Analyzer 8



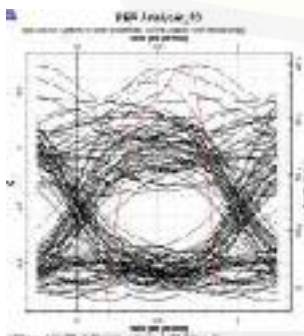
Max. Q Factor	0
Min. BER	1
Cyc Height	0
Threshold	0
Decision Inv.	0

BER Analyzer 9



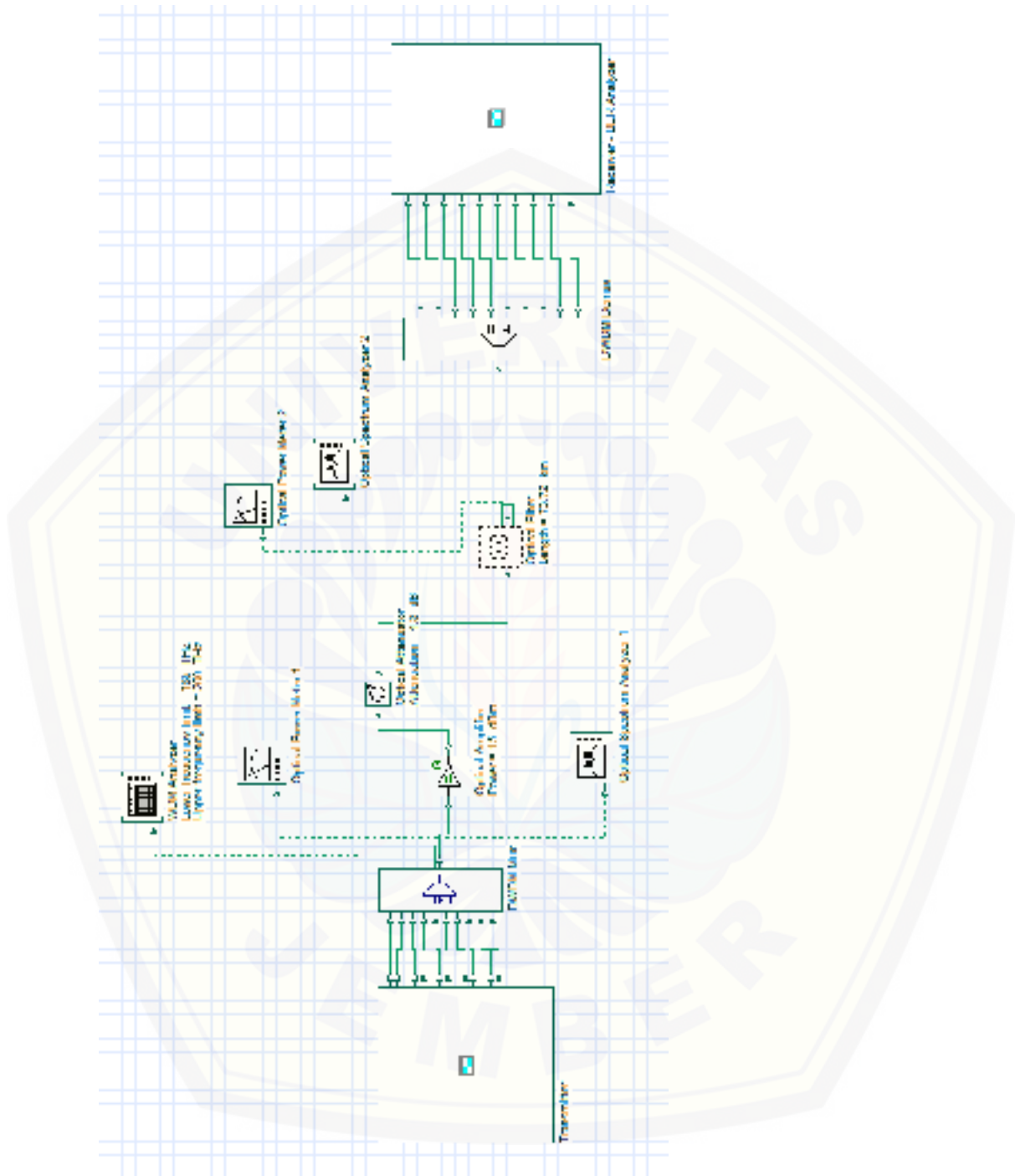
Max. Q Factor	0
Min. BER	1
Cyc Height	0
Threshold	0
Decision Inv.	0

BER Analyzer 10

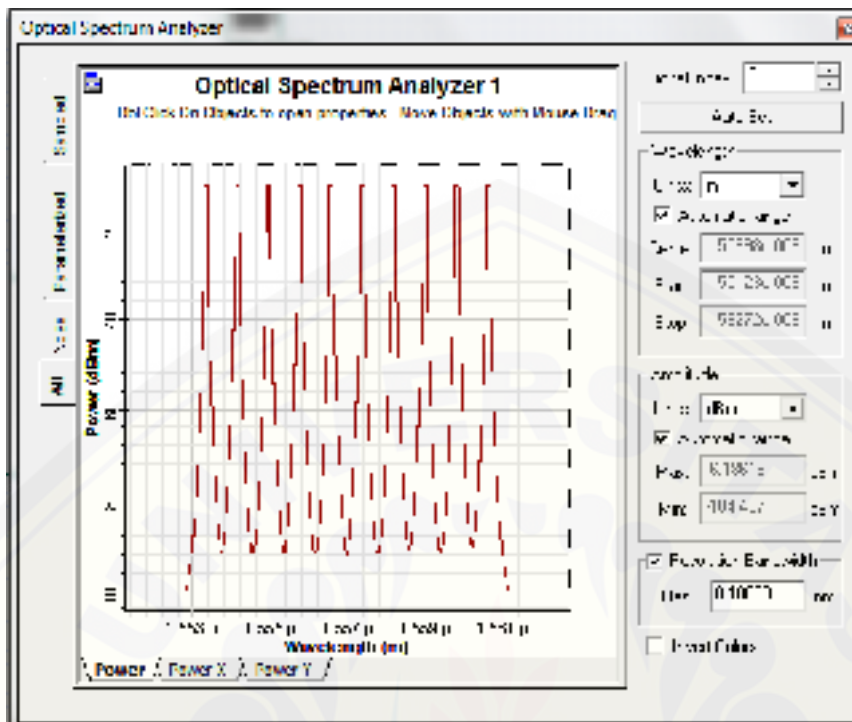


Max. Q Factor	0.00000
Min. BER	0.00000e+000
Cyc Height	0.00000e+000
Threshold	0.00000e+000
Decision Inv.	0.50000

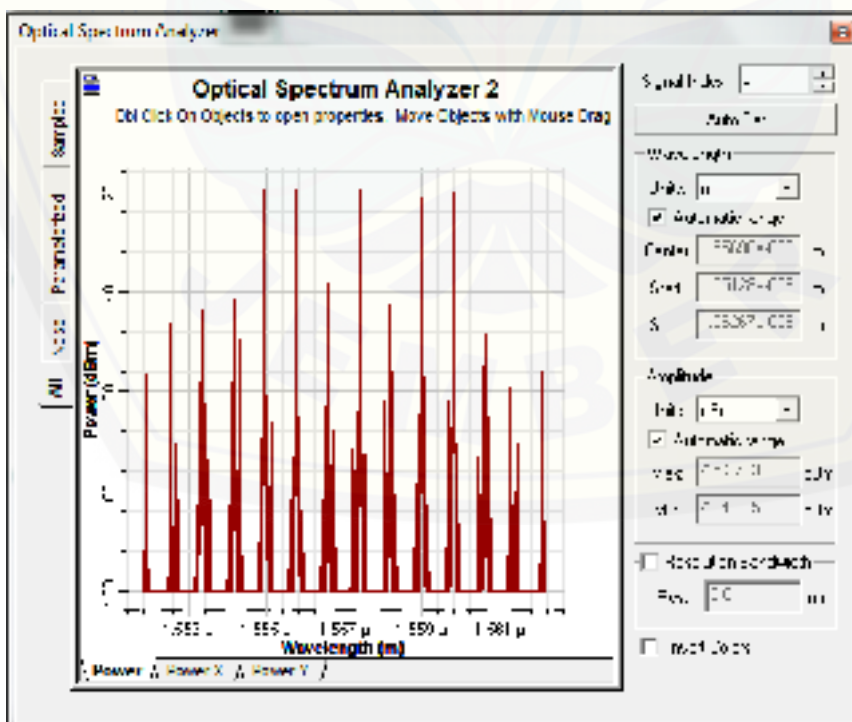
1.2.2 HUT Jember - HUT Klakah Jalur PU dengan Dispersi = 6



Spectrum Analyzer 1



Spectrum Analyzer 2



WDM Analyzer



	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)	OSNR (dB)
Min value	-1.0710359	-88.416584	74.147917
Max Value	-0.653578	-84.851654	77.298403
Total	-0.09241229	-75.012291	
Ratio max/min	0.056781798	3.5582771	3.5582771
	(THz)	(THz)	(THz)
Frequency at min	192.2	193	192.2
Frequency at max	192.6	192.2	193

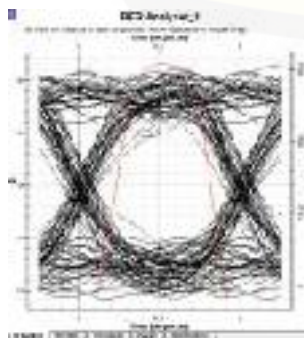
Power Meter 1



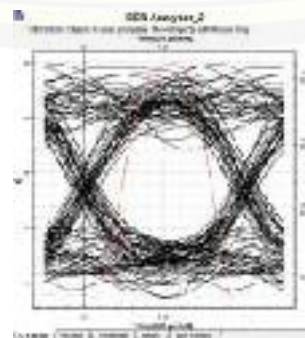
Power Meter 2



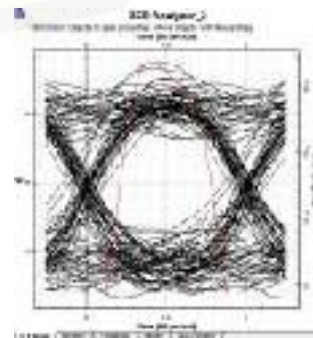
BER Analyzer 1



BER Analyzer 2

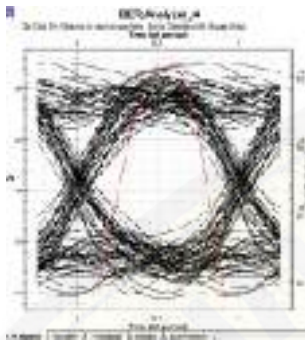


BER Analyzer 3



Max. Q Factor	5.23702
Min. BER	1.02123e-005
Eye Height	1.22946e-005
Threshold	1.41794e-005
Decision Invt.	0.0000000

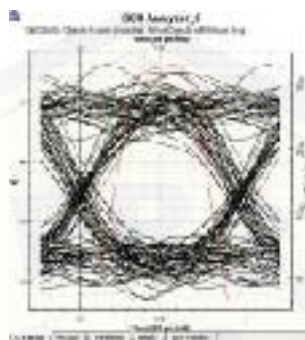
BER Analyzer 4



Max. Q Factor	5.23702
Min. BER	1.02123e-005
Eye Height	1.22946e-005
Threshold	1.41794e-005
Decision Invt.	0.0000000

Max. Q Factor	5.89749
Min. BER	1.19647e-005
Eye Height	1.19772e-005
Threshold	1.20703e-005
Decision Invt.	0.0000000

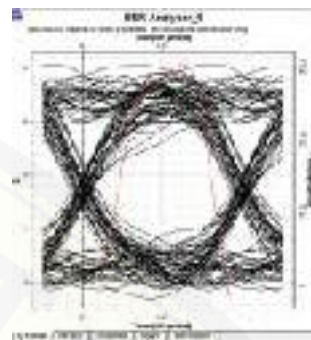
BER Analyzer 5



Max. Q Factor	5.89844
Min. BER	1.00470e-005
Eye Height	1.00219e-005
Threshold	1.00030e-005
Decision Invt.	0.0000000

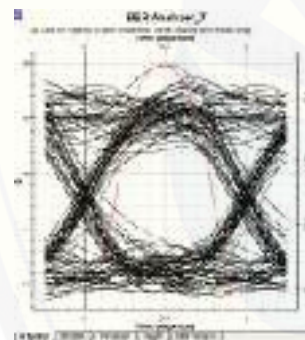
Max. Q Factor	5.11071
Min. BER	1.05798e-005
Eye Height	1.14397e-005
Threshold	1.12751e-005
Decision Invt.	0.0000000

BER Analyzer 6



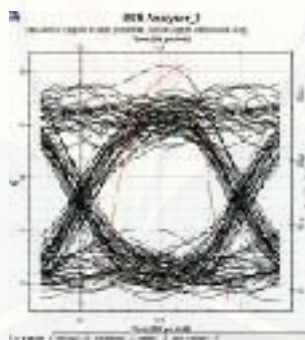
Max. Q Factor	5.00000
Min. BER	1.27496e-005
Eye Height	1.18919e-005
Threshold	1.20407e-005
Decision Invt.	0.0000000

BER Analyzer 7



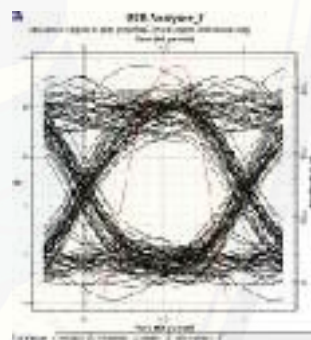
Max. Q Factor	5.97000
Min. BER	1.15075e-005
Eye Height	1.17114e-005
Threshold	1.18010e-005
Decision Invt.	0.0000000

BER Analyzer 8



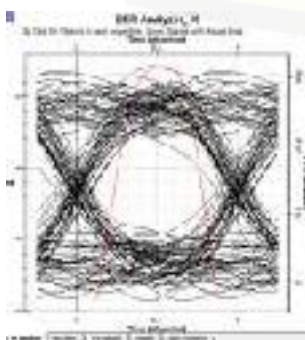
Max. Q Factor	1.91075
Min. BER	4.68410e-010
Eye Height	1.00014e-005
Threshold	1.00010e-005
Decision Invt.	0.0000000

BER Analyzer 9



Max. Q Factor	5.84000
Min. BER	1.00000e-005
Eye Height	1.00000e-005
Threshold	1.00000e-005
Decision Invt.	0.0000000

BER Analyzer 10



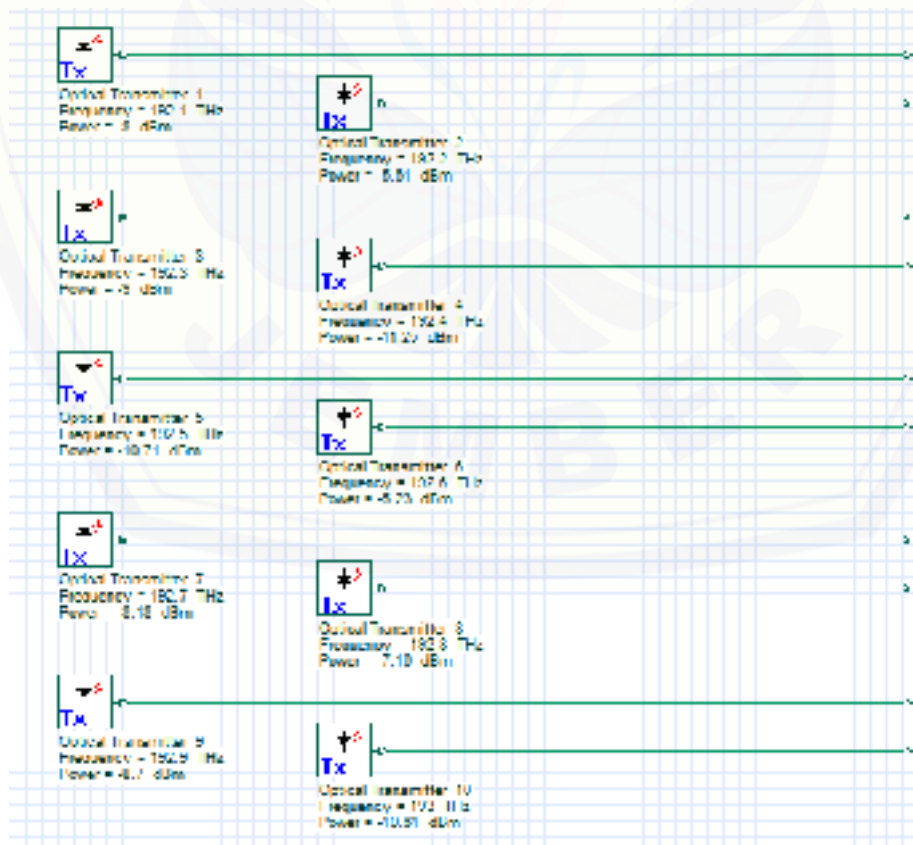
Max. Q Factor	5.11700
Min. BER	1.00000e-005
Eye Height	1.00000e-005
Threshold	1.00000e-005
Decision Invt.	0.0000000

Transmitter dengan Daya Input Tidak Sama

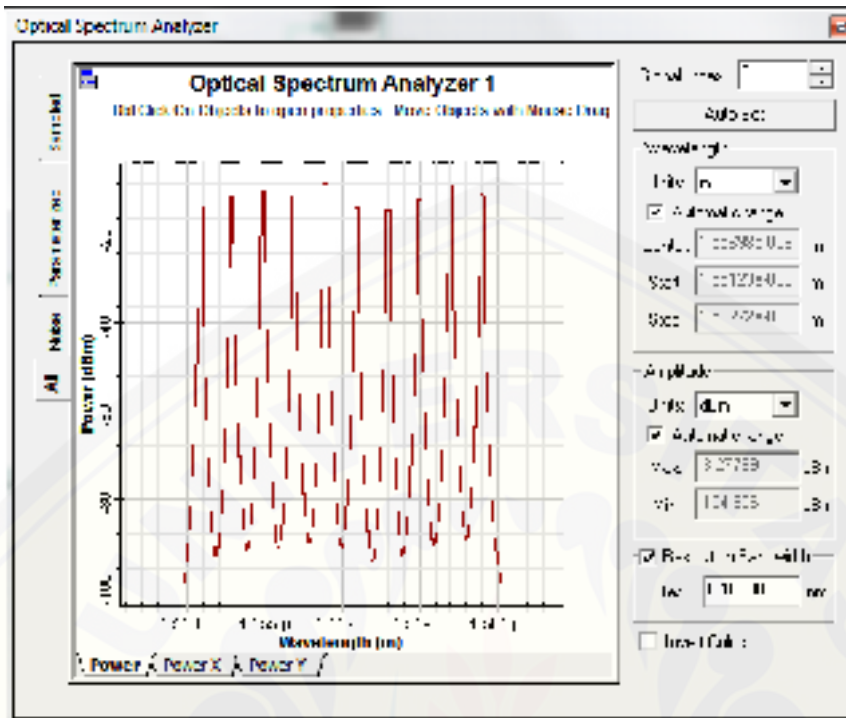
Daya Input Total = 2 dBm

Tabel 1.1 Daya Input Tidak Sama

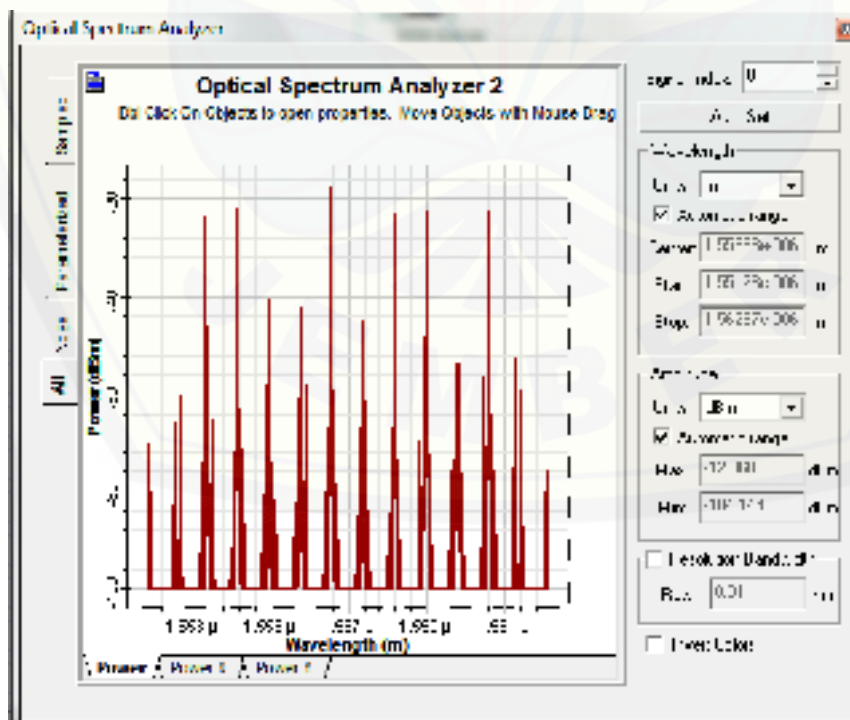
Kanal	Frekuensi	mWatt	dBm
1	192.1	0,1585	-8
2	192.2	0,275	-5,61
3	192.3	0,125	-9
4	192.4	0,075	-11,25
5	192.5	0,085	-10,71
6	192.6	0,3	-5,23
7	192.7	0,1520	-8,18
8	192.8	0,1925	-7,16
9	192.9	0,135	-8,7
10	193	0,087	-10,61



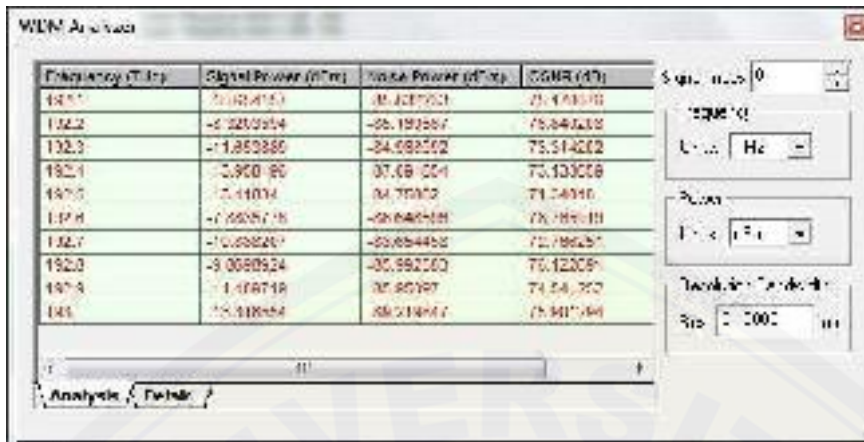
Spectrum Analyzer 1



Spectrum Analyzer 2



WDM Analyzer



	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)	OSNR (dB)
Min value	-13.958198	-89.219847	75.261649
Max Value	-7.0009476	-85.191887	78.190939
Total	-0.0009476	-75.707075	75.697091
Ratio max/min	6.0746179	5.7670791	5.7670791
	(THz)	(THz)	(THz)
Frequency at min	192.4	193	192.5
Frequency at max	192.8	192.7	192.8

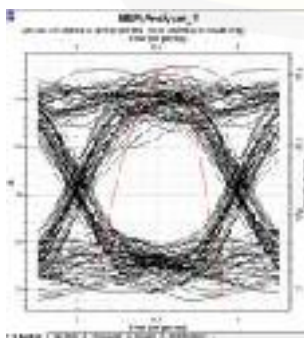
Power Meter 1



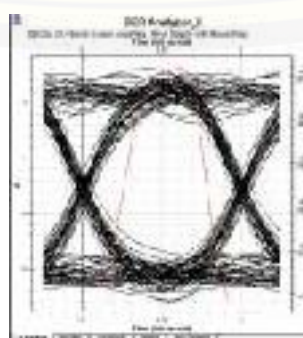
Power Meter 2



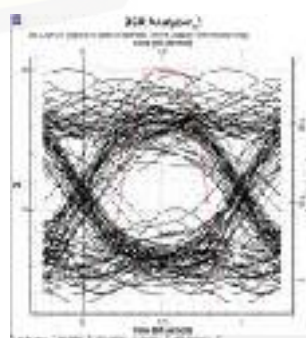
BER Analyzer 1



BER Analyzer 2

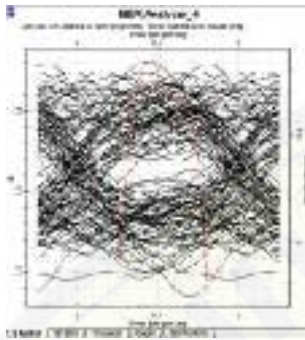


BER Analyzer 3



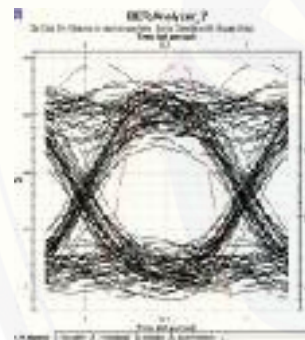
Max. Q Factor	0.70207
Min. BER	1.01475e-004
Eye Height	1.04925e-005
Threshold	1.5001e-005
Decision Inet.	0.000405

BER Analyzer 4



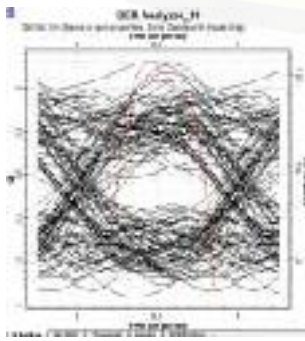
Max. Q Factor	2.98191
Min. BER	0.0000000
Eye Height	0.18700e-000
Threshold	0.00070e-000
Decision Inet.	0.00050

BER Analyzer 7



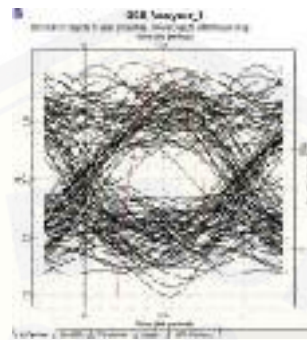
Max. Q Factor	5.03001
Min. BER	1.00000e-000
Eye Height	0.00000e-000
Threshold	1.00000e-000
Decision Inet.	0.00000

BER Analyzer 10



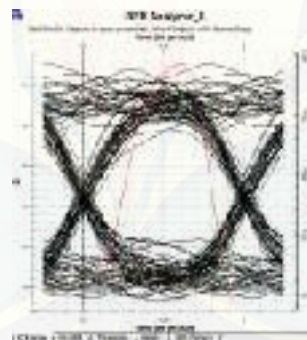
Max. Q Factor	0.00000
Min. BER	0.00000e-000
Eye Height	0.00000e-000
Threshold	0.00000e-000
Decision Inet.	0.00000

BER Analyzer 5



Max. Q Factor	0.00000
Min. BER	0.00000e-000
Eye Height	0.00000e-000
Threshold	0.00000e-000
Decision Inet.	0.00000

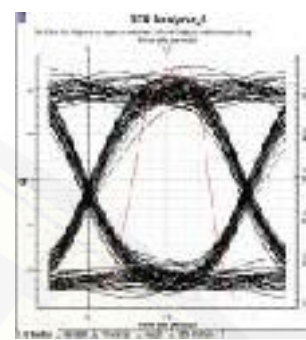
BER Analyzer 8



Max. Q Factor	0.00000
Min. BER	0.00000e-000
Eye Height	0.00000e-000
Threshold	0.00000e-000
Decision Inet.	0.00000

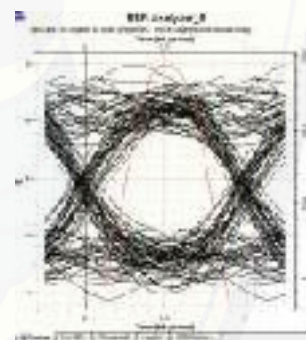
Max. Q Factor	0.00000
Min. BER	0.00000e-000
Eye Height	0.00000e-000
Threshold	0.00000e-000
Decision Inet.	0.00000

BER Analyzer 6



Max. Q Factor	0.00000
Min. BER	0.00000e-000
Eye Height	0.00000e-000
Threshold	0.00000e-000
Decision Inet.	0.00000

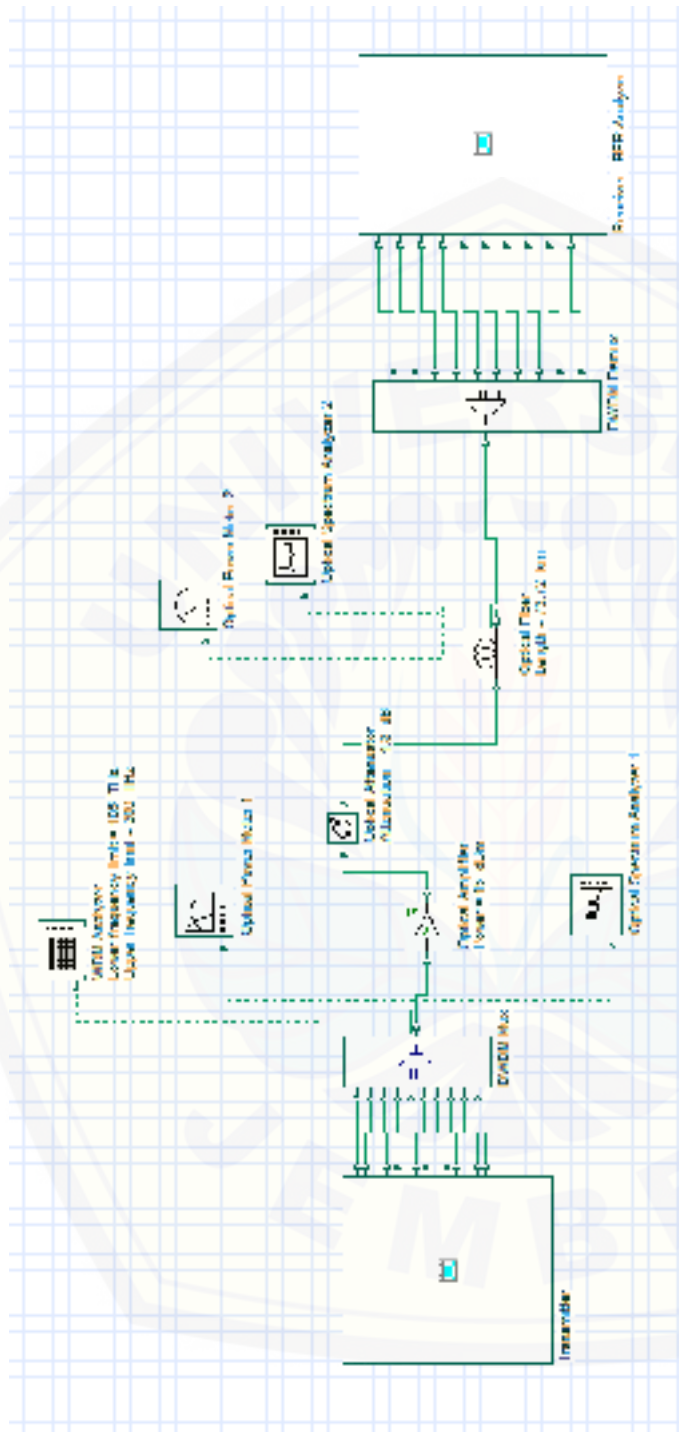
BER Analyzer 9

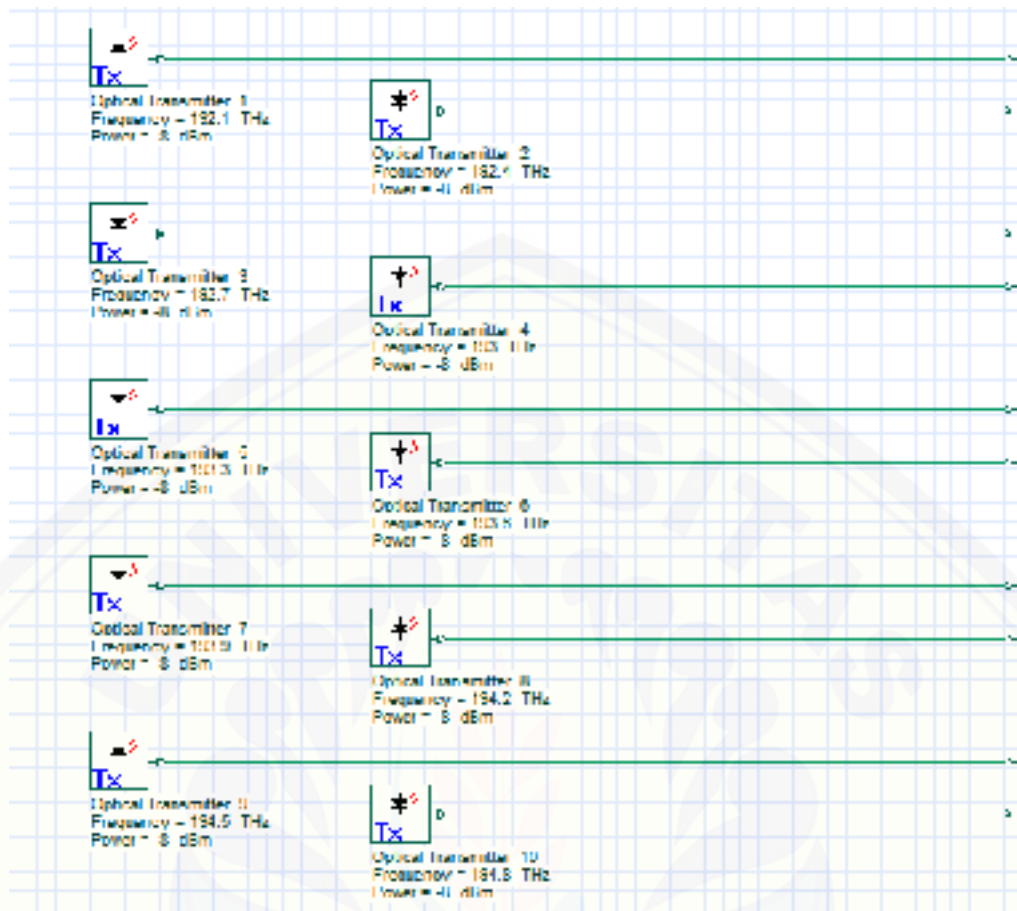


Max. Q Factor	0.00000
Min. BER	0.00000e-000
Eye Height	0.00000e-000
Threshold	0.00000e-000
Decision Inet.	0.00000

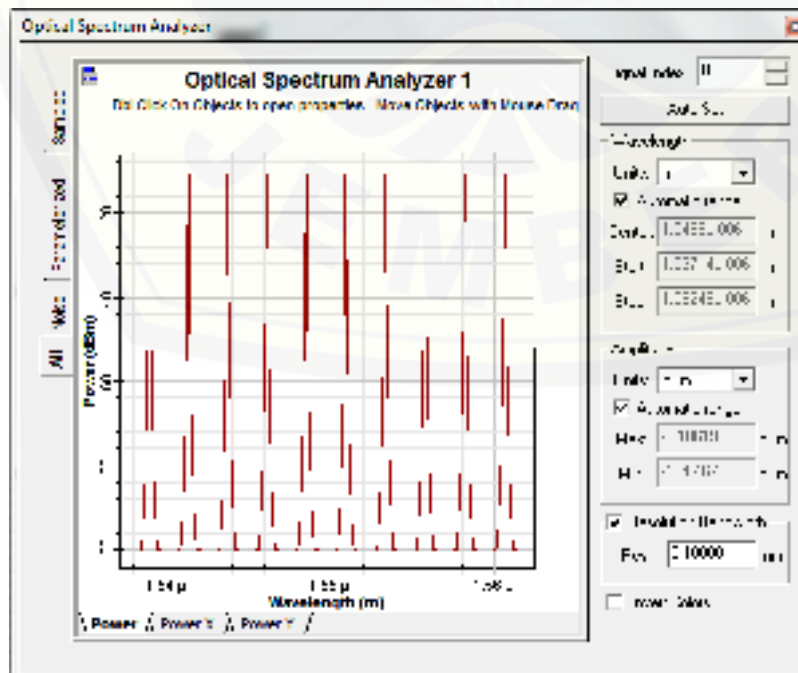
Max. Q Factor	0.00000
Min. BER	0.00000e-000
Eye Height	0.00000e-000
Threshold	0.00000e-000
Decision Inet.	0.00000

1.2.4 HUT Jember - HUT Klakah Jalur PU dengan Channel Spacing 300 GHz

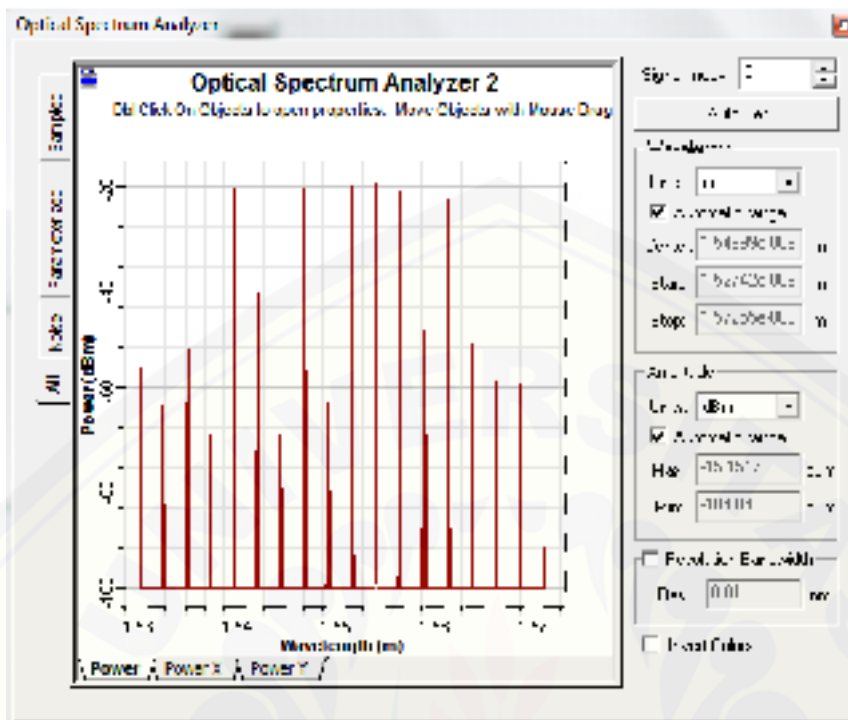




Spectrum Analyzer 1



Spectrum Analyzer 2



WDM Analyzer



	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)	OSNR (dB)
Min value	-10.710359	-100	88.971143
Max Value	-10.853578	-99.8253	89.548422
Total	-0.89241529	-90.190902	
Ratio max/min	0.058781798	0.37470051	0.37470031
	(THz)	(THz)	(THz)
Frequency at min	192.4	194.5	192.1
Frequency at max	193.8	192.1	193.8

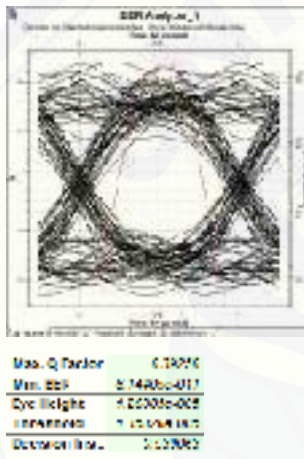
Power Meter 1



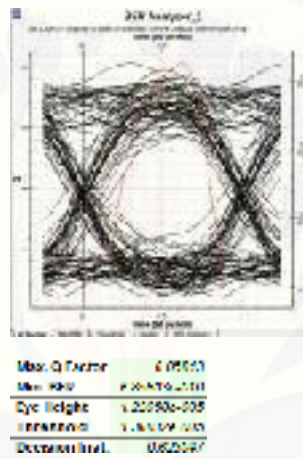
Power Meter 2



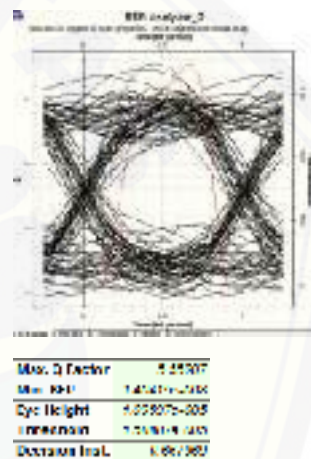
BER Analyzer 1



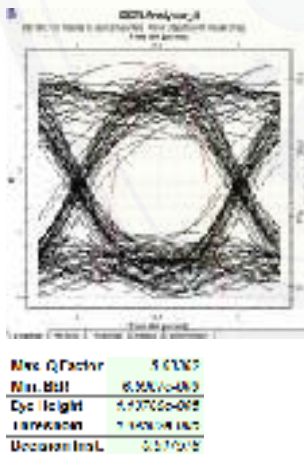
BER Analyzer 2



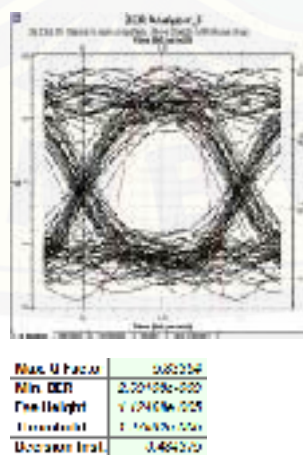
BER Analyzer 3



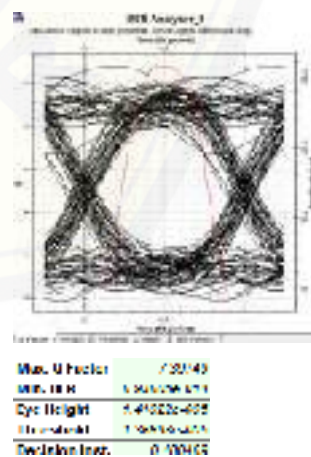
BER Analyzer 4



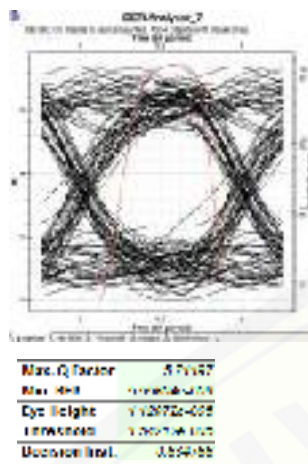
BER Analyzer 5



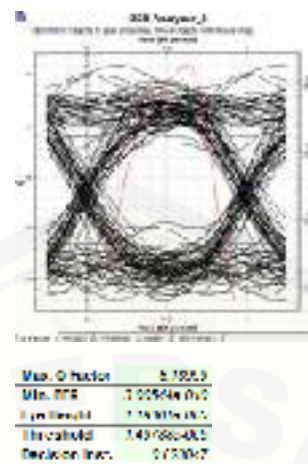
BER Analyzer 6



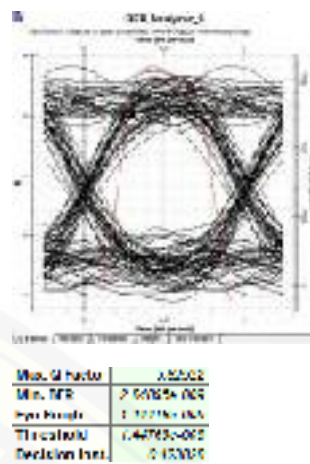
BER Analyzer 7



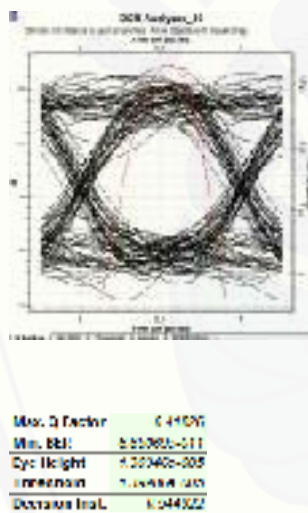
BER Analyzer 8



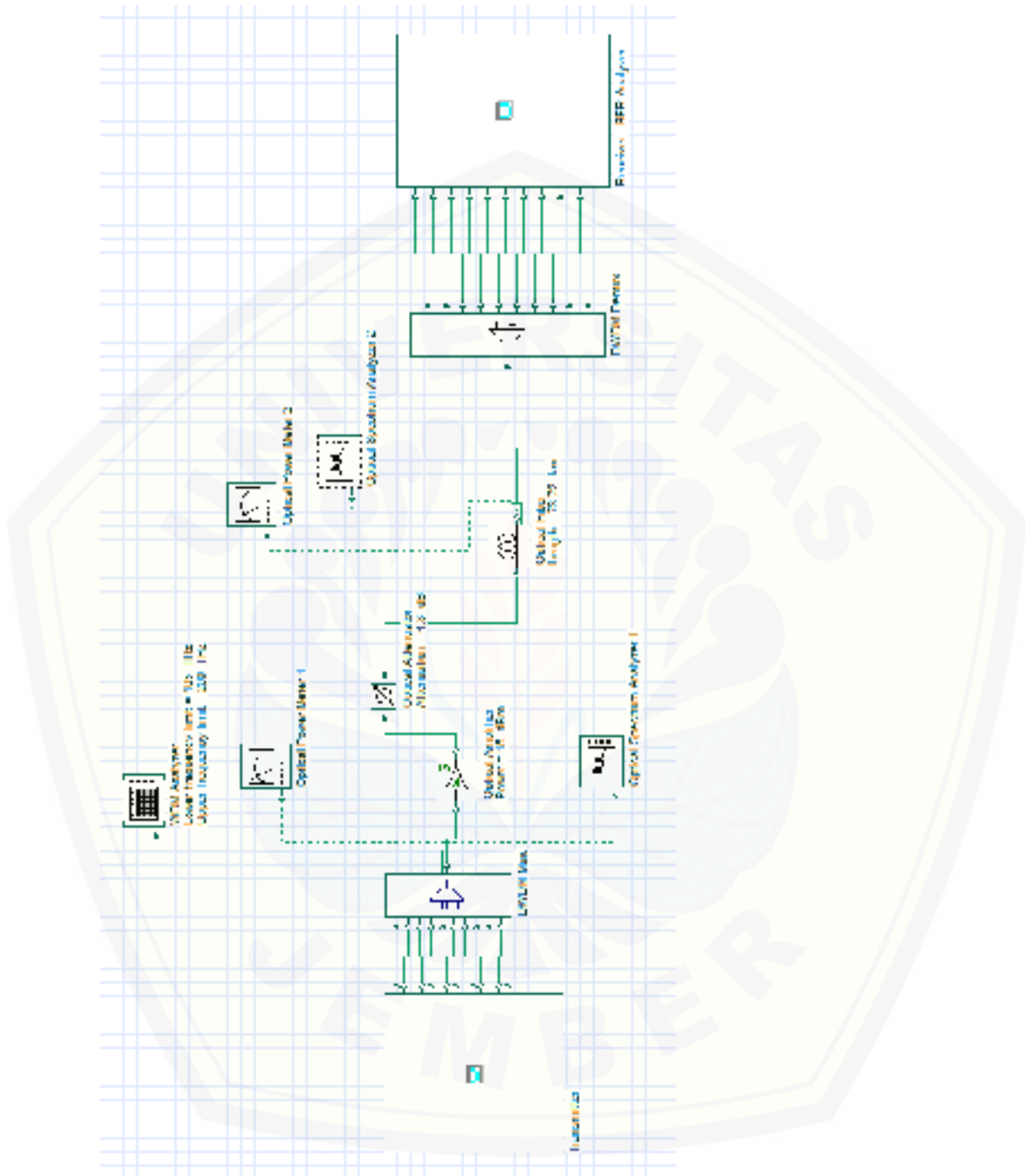
BER Analyzer 9



BER Analyzer 10



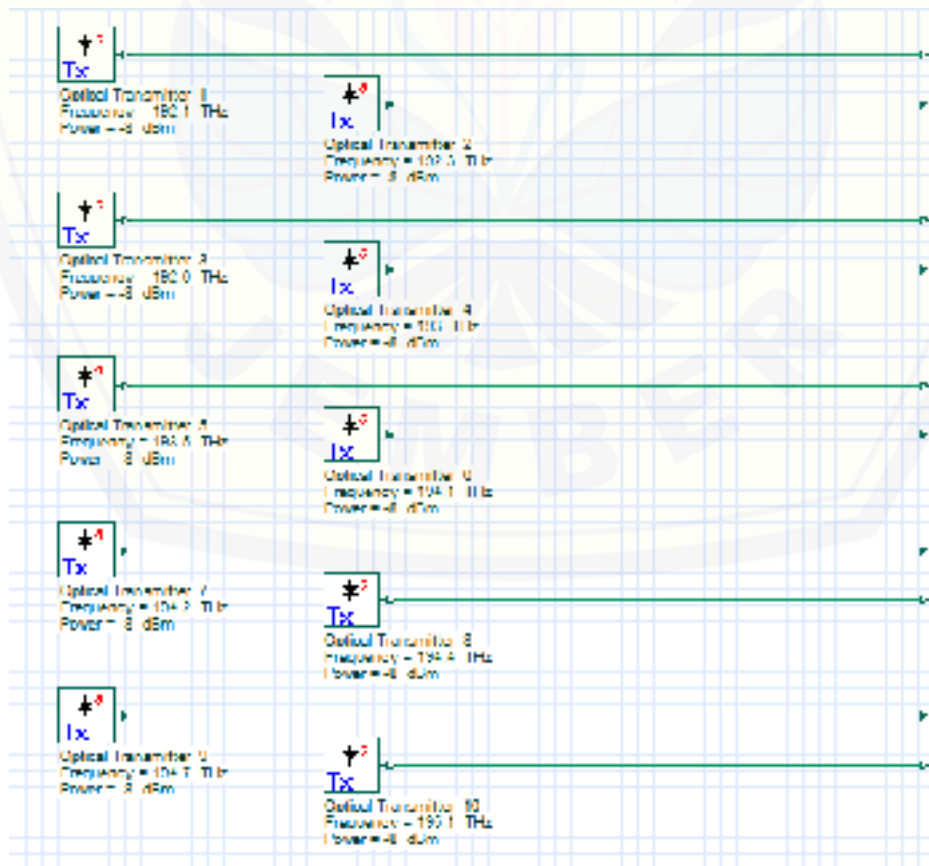
1.2.5 HUT Jember - HUT Klakah Jalur PU dengan Channel Spacing Tidak Sama



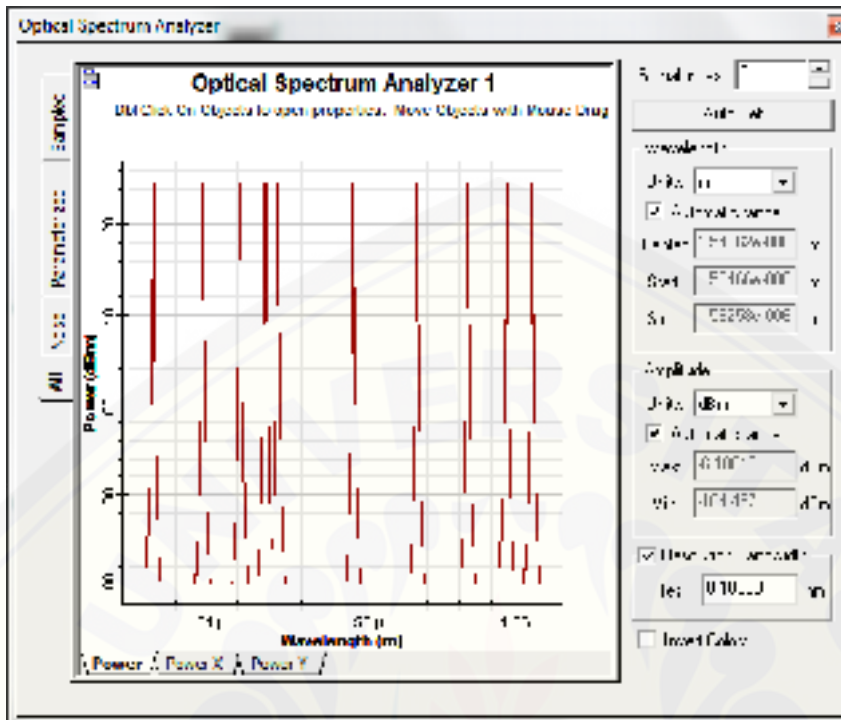
Berikut parameter frekuensi dari channel spacing yang tidak sama:

Tabel 1.2 Frekuensi spasi kanal tidak sama

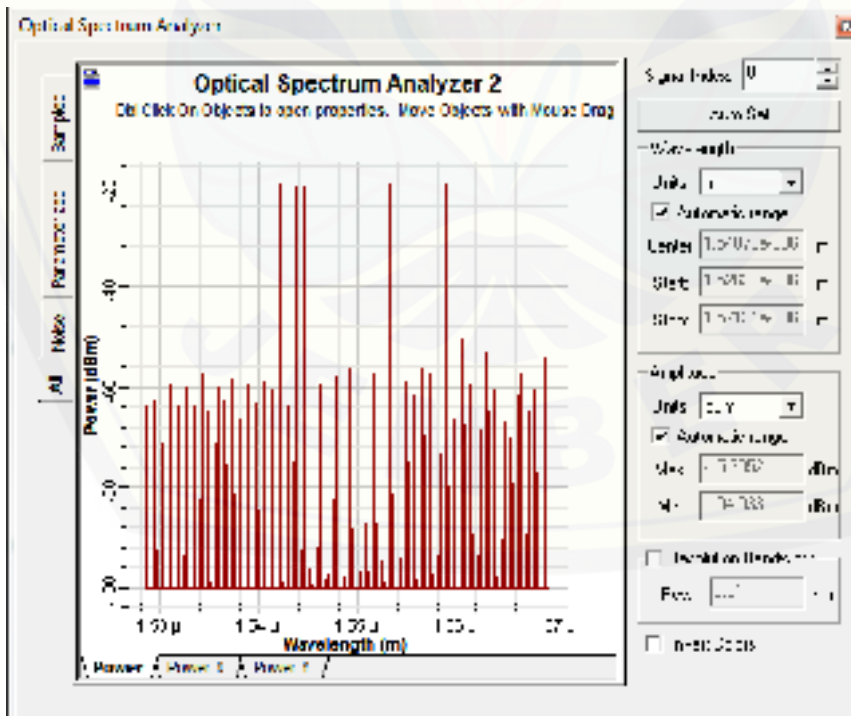
Kanal	Frekuensi
1	192.1
2	192.3
3	192.6
4	193
5	193.5
6	194.1
7	194.2
8	194.4
9	194.7
10	195.1



Spectrum Analyzer 1



Spectrum Analyzer 2



WDM Analyzer



	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)	OSNR (dB)
Min value	-10.710359	-100	77.701128
Max Value	-10.855578	-88.409535	89.348111
Total	0.69211529	81.409401	
Ratio max/min	0.056781718	11.500667	11.500667
	(1107)	(1107)	(1107)
Frequency at min	192.3	194.7	194.2
Frequency at max	194.1	194.2	192.8

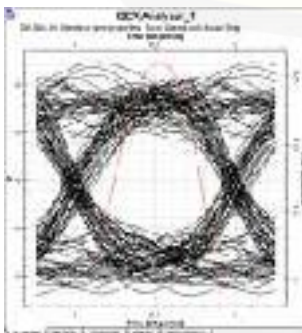
Power Meter 1



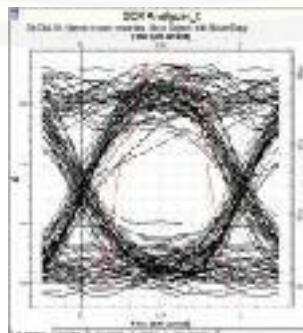
Power Meter 2



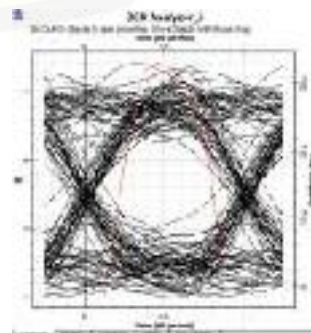
BER Analyzer 1



BER Analyzer 2

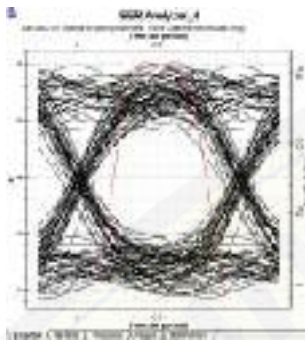


BER Analyzer 3



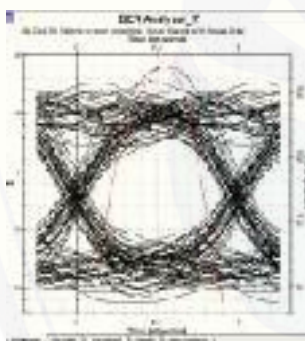
Max. Q Factor	5.42283
Min. BER	5.45139e-009
Eye Height	1.15555e-005
Threshold	1.47500e-005
Decision Inst.	0.551191

BER Analyzer 4



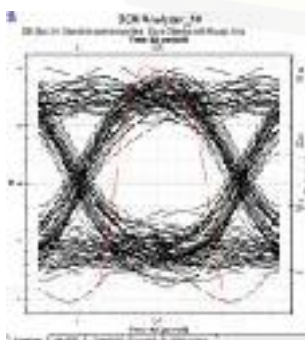
Max. Q Factor	5.51402
Min. BER	1.52026e-010
Eye Height	1.32076e-005
Threshold	1.42491e-005
Decision Inst.	0.451875

BER Analyzer 7



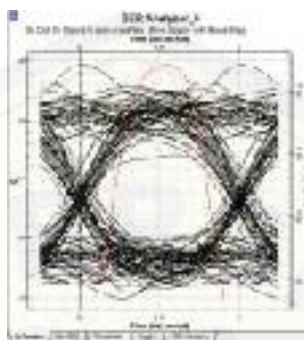
Max. Q Factor	5.73821
Min. BER	2.34200e-009
Eye Height	1.02519e-005
Threshold	1.01905e-005
Decision Inst.	0.547018

BER Analyzer 10



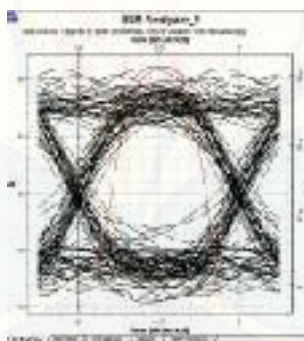
Max. Q Factor	5.07505
Min. BER	6.00044e-008
Eye Height	1.72445e-005
Threshold	1.21500e-005
Decision Inst.	0.451191

BER Analyzer 5



Max. Q Factor	5.81495
Min. BER	1.48126e-009
Eye Height	1.17071e-005
Threshold	1.11000e-005
Decision Inst.	0.602178

BER Analyzer 8



Max. Q Factor	6.22024
Min. BER	2.07007e-010
Eye Height	1.20004e-005
Threshold	1.31800e-005
Decision Inst.	0.590704

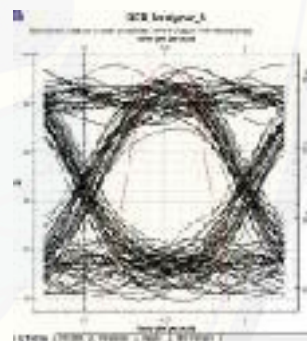
Max. Q Factor	5.58014
Min. BER	1.10076e-008
Eye Height	1.04500e-005
Threshold	1.43410e-005
Decision Inst.	0.402010

BER Analyzer 6



Max. Q Factor	7.51571
Min. BER	2.10460e-012
Eye Height	1.40266e-005
Threshold	1.40000e-005
Decision Inst.	0.468281

BER Analyzer 9



Max. Q Factor	6.70436
Min. BER	1.26940e-012
Eye Height	1.31276e-005
Threshold	1.40000e-005
Decision Inst.	0.486191

Max. Q Factor	6.02008
Min. BER	0.10000e-010
Eye Height	1.10000e-005
Threshold	1.50000e-005
Decision Inst.	0.450000

1.3 Perbandingan pada simulasi HUT Jember – HUT Klakah Jalur PU Port 7

Tabel 1.3 Perbandingan HUT Jember – HUT Klakah Jalur PU Port 7

NO	Pengukuran	Pengujian	
	Dispersi = 4	Dispersi = 0	Dispersi = 6
1	6,46486	2,87725	6,29752
2	6,05261	3,90456	5,97219
3	4,97874	2,28214	5,73061
4	5,53555	0	6,53042
5	5,57274	2,89773	5,59911
6	6,7453	2,28596	6,0603
7	6,14329	2,31044	5,9783
8	6,23767	0	6,11675
9	6,73069	0	6,84355
10	5,58833	3,4393	5,41713

Tabel 1.4 Perbandingan simulasi dan pengukuran daya input sama dan tidak sama

NO	Pengukuran	Pengujian
	Daya Input -8 dBm	Daya Input Tidak Sama
1	6,46486	6,70307
2	6,05261	10,2248
3	4,97874	4,00465
4	5,53555	2,46191
5	5,57274	3,10102
6	6,7453	12,0054
7	6,14329	5,90464
8	6,23767	7,51166
9	6,73069	5,97338
10	5,58833	3,11689

Tabel 1.5 Perbandingan simulasi dan pengukuran dari spasi kanal

NO	Pengukuran	Pengujian	
	Spasi Kanal 100 GHz	Spasi Kanal 300 GHz	Spasi Kanal Tidak Sama
1	6,46486	6,39256	6,45269
2	6,05261	6,05843	5,67428
3	4,97874	5,55207	5,39074
4	5,53555	5,68362	6,01492
5	5,57274	5,83354	5,93556
6	6,7453	7,39749	7,54243
7	6,14329	5,71197	5,79851
8	6,23767	6,18999	6,22681
9	6,73069	5,82522	6,79606
10	5,58833	6,41826	6,02506

2. Perhitungan Daya FWM

FWM timbul akibat pengaruh ketergantungan indeks bias serat optis dengan intensitas gelombang optis yang merambat sepanjang serat. Interaksi ini menyebabkan munculnya gelombang optis lain dengan frekuensi f_g yang terjadi melalui pencampuran (*mixing*) tiga gelombang dengan frekuensi f_i , f_j , dan f_k menurut persamaan $f_g = f_i + f_j - f_k$. (Ardelina, 2011).

Efisiensi FWM (D.J. Barros, 2004) dinyatakan sebagai

$$\eta = \frac{\alpha^2}{\alpha^2 + \Delta\beta^2} \left(1 + \frac{4e^{-\alpha L} \sin^2\left(\frac{\Delta\beta L}{2}\right)}{(1 - e^{-\alpha L})^2} \right)$$

Untuk L_{eff}

$$L_{eff} = (1 - e^{-\alpha L})/\alpha$$

Intensitas tergantung dari faktor *phase matching* dan dinyatakan sebagai

$$\Delta\beta = \beta_{signal} + \beta_{converted} - 2\beta_{pump} = \frac{2\pi\lambda_s^2}{c} \Delta f^2 \left[D(\lambda_s) + \Delta f \frac{\lambda_s^2}{c} \frac{\partial D}{\partial \lambda} \right]$$

Daya FWM dinyatakan sebagai

$$P_{ijk} = \eta_{ijk} \frac{1024\pi^6 x_{1111}^2 d^2}{n^4 \lambda^2 c^2} \left(\frac{L_{eff}}{\Delta_{eff}} \right)^2 P_i \cdot P_j \cdot P_k \cdot \exp(-\alpha L)$$

Maka

1. PFWM HUT Jember – Hut Klakah Jalur PU Port 7 Hasil Pengukuran (dengan dispersi = 4)
 1. Pada kanal 1 dengan $\lambda = 1560,61$
 $\alpha = 0,25$ dB/km

$$d = 4$$

$$L = 73,72 \text{ km}$$

$$c = 3e8 \text{ m/s}$$

$$\Delta f = 100 \text{ GHz}$$

$$\frac{\partial D}{\partial \lambda} = 0,075 \text{ ps/km.nm}^2$$

$$X^2_{1111} = 7,4e-036$$

$$A_{eff} = 64 \text{ } \mu\text{m}^2$$

$$n = 2,68e-020$$

Hasil perhitungannya yaitu:

$$\Delta\beta = \frac{2\pi\lambda_s^2}{c} \Delta f^2 \left[D(\lambda_s) + \Delta f \frac{\lambda_s^2}{c} \frac{\partial D}{\partial \lambda} \right]$$

$$\Delta\beta = \frac{2\pi(1560,61)^2}{3.10^8} (100)^2 \left[4(1560,61) + 100 \frac{(1560,61)^2}{3.10^8} 0,075 \right]$$

$$\Delta\beta = 3184241,46$$

$$\Delta\beta = 3,1842e006$$

Lalu untuk efisiensi

$$\eta = \frac{\alpha^2}{\alpha^2 + \Delta\beta^2} \left(1 + \frac{4e^{-\alpha L} \sin^2\left(\frac{\Delta\beta L}{2}\right)}{(1 - e^{-\alpha L})^2} \right)$$

$$\eta = \frac{0,25^2}{0,25^2 + (3184241,46)^2} \left(1 + \frac{4e^{(-0,25 \cdot 73,72)} \sin^2\left(\frac{3184241,46 \cdot 73,72}{2}\right)}{(1 - e^{(-0,25 \cdot 73,72)})^2} \right)$$

$$\eta = \frac{0,25^2}{0,25^2 + (3184241,46)^2} \left(1 + \frac{4e^{(-0,25 \cdot 73,72)} \cdot 0,5 (1 - \cos 2\left(\frac{3184241,46 \cdot 73,72}{2}\right))}{(1 - e^{(-0,25 \cdot 73,72)})^2} \right)$$

$$\eta = 6,164076821 \times 10^{-15}$$

$$\eta = 6,1641e-015$$

untuk L_{eff}

$$L_{eff} = (1 - e^{-\alpha L})/\alpha$$

$$L_{eff} = (1 - e^{-0,25 \cdot 73,72})/0,25$$

$$L_{eff} = 0,249999997$$

untuk P_{FWM}

$$P_{ijk} = \eta_{ijk} \frac{1024\pi^6 x_{1111}^2 d^2}{n^4 \lambda^2 c^2} \left(\frac{L_{\text{eff}}}{A_{\text{eff}}}\right)^2 P_i \cdot P_j \cdot P_k \cdot \exp(-\alpha L)$$

$$P_{\text{FWM}} = 6,164076821 \times 10^{-15} \frac{1024\pi^6 (7,4 \times 10^{-36})(4)^2}{(2,68 \times 10^{-20})^4 (1560,61)^2 (3 \times 10^8)^2} \cdot \left(\frac{0,249999997}{64}\right)^2 \cdot 0,1585 \cdot 0,1585 \cdot 0,1585 \cdot e(-0,25 \cdot 73,72)$$

$$P_{\text{FWM}} = 1,6303 \text{e-}035 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -317,8774 \text{ dBm}$$

2. Pada kanal 2 dengan $\lambda = 1559,79$

$$\alpha = 0,25 \text{ dB/km}$$

$$d = 4$$

$$L = 73,72 \text{ km}$$

$$c = 3 \text{e}8 \text{ m/s}$$

$$\Delta f = 100 \text{ GHz}$$

$$\frac{\partial D}{\partial \lambda} = 0,075 \text{ ps/km.nm}^2$$

$$X_{1111}^2 = 7,4 \text{e-}036$$

$$A_{\text{eff}} = 64 \mu\text{m}^2$$

$$n = 2,68 \text{e-}020$$

Hasil perhitungannya yaitu:

$$\Delta\beta = 3,1792 \text{e}006$$

$$\eta = 6,1835 \text{e-}015$$

$$P_{\text{FWM}} = 1,6372 \text{e-}035 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -317,8591 \text{ dBm}$$

3. Pada kanal 3 dengan $\lambda = 1558,98$

$$\alpha = 0,25 \text{ dB/km}$$

$$d = 4$$

$$L = 73,72 \text{ km}$$

$$c = 3 \text{e}8 \text{ m/s}$$

$$\Delta f = 100 \text{ GHz}$$

$$\frac{\partial D}{\partial \lambda} = 0,075 \text{ ps/km.nm}^2$$

$$X_{1111}^2 = 7,4e-036$$

$$A_{eff} = 64 \text{ } \mu\text{m}^2$$

$$n = 2,68e-020$$

Hasil perhitungannya yaitu:

$$\Delta\beta = 3,1743e006$$

$$\eta = 6,2028e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 1,6440e-035 \text{ W}$$

$$\text{PFWM} = -317,8411 \text{ dBm}$$

4. Pada kanal 4 dengan $\lambda = 1558,17$

$$\alpha = 0,25 \text{ dB/km}$$

$$d = 4$$

$$L = 73,72 \text{ km}$$

$$c = 3e8 \text{ m/s}$$

$$\Delta f = 100 \text{ GHz}$$

$$\frac{\partial D}{\partial \lambda} = 0,075 \text{ ps/km.nm}^2$$

$$X_{1111}^2 = 7,4e-036$$

$$A_{eff} = 64 \text{ } \mu\text{m}^2$$

$$n = 2,68e-020$$

Hasil perhitungannya yaitu:

$$\Delta\beta = 3,1693e006$$

$$\eta = 6,2222e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 1,6508e-035 \text{ W}$$

$$\text{PFWM} = -317,8230 \text{ dBm}$$

5. Pada kanal 5 dengan $\lambda = 1557,36$

$$\alpha = 0,25 \text{ dB/km}$$

$$d = 4$$

$$L = 73,72 \text{ km}$$

$$c = 3e8 \text{ m/s}$$

$$\Delta f = 100 \text{ GHz}$$

$$\frac{\partial D}{\partial \lambda} = 0,075 \text{ ps/km.nm}^2$$

$$X^2_{1111} = 7,4e-036$$

$$A_{eff} = 64 \mu\text{m}^2$$

$$n = 2,68e-020$$

Hasil perhitungannya yaitu:

$$\Delta\beta = 3,1644e006$$

$$\eta = 6,2417e-015$$

$$P_{FWM} = 1,6577e-035 \text{ W}$$

$$PFWM = -317,8049 \text{ dBm}$$

6. Pada kanal 6 dengan $\lambda = 1556,55$

$$\alpha = 0,25 \text{ dB/km}$$

$$d = 4$$

$$L = 73,72 \text{ km}$$

$$c = 3e8 \text{ m/s}$$

$$\Delta f = 100 \text{ GHz}$$

$$\frac{\partial D}{\partial \lambda} = 0,075 \text{ ps/km.nm}^2$$

$$X^2_{1111} = 7,4e-036$$

$$A_{eff} = 64 \mu\text{m}^2$$

$$n = 2,68e-020$$

Hasil perhitungannya yaitu:

$$\Delta\beta = 3,1595e006$$

$$\eta = 6,2612e-015$$

$$P_{FWM} = 1,6646e-035 \text{ W}$$

$$PFWM = -317,7869 \text{ dBm}$$

7. Pada kanal 7 dengan $\lambda = 1555,75$

$$\alpha = 0,25 \text{ dB/km}$$

$$d = 4$$

$$L = 73,72 \text{ km}$$

$$c = 3e8 \text{ m/s}$$

$$\Delta f = 100 \text{ GHz}$$

$$\frac{\partial D}{\partial \lambda} = 0,075 \text{ ps/km.nm}^2$$

$$X^2_{1111} = 7,4e-036$$

$$A_{eff} = 64 \mu\text{m}^2$$

$$n = 2,68e-020$$

Hasil perhitungannya yaitu:

$$\Delta\beta = 3,1546e006$$

$$\eta = 6,2805e-015$$

$$P_{FWM} = 1,6715e-035 \text{ W}$$

$$PFWM = -317,7690 \text{ dBm}$$

8. Pada kanal 8 dengan $\lambda = 1554,94$

$$\alpha = 0,25 \text{ dB/km}$$

$$d = 4$$

$$L = 73,72 \text{ km}$$

$$c = 3e8 \text{ m/s}$$

$$\Delta f = 100 \text{ GHz}$$

$$\frac{\partial D}{\partial \lambda} = 0,075 \text{ ps/km.nm}^2$$

$$X^2_{1111} = 7,4e-036$$

$$A_{eff} = 64 \mu\text{m}^2$$

$$n = 2,68e-020$$

Hasil perhitungannya yaitu:

$$\Delta\beta = 3,1497e006$$

$$\eta = 6,3002e-015$$

$$P_{FWM} = 1,6785e-035 \text{ W}$$

$$PFWM = -317,7509 \text{ dBm}$$

9. Pada kanal 9 dengan $\lambda = 1554,13$

$$\alpha = 0,25 \text{ dB/km}$$

$$d = 4$$

$$L = 73,72 \text{ km}$$

$$c = 3e8 \text{ m/s}$$

$$\Delta f = 100 \text{ GHz}$$

$$\frac{\partial D}{\partial \lambda} = 0,075 \text{ ps/km.nm}^2$$

$$X_{1111}^2 = 7,4e-036$$

$$A_{eff} = 64 \text{ } \mu\text{m}^2$$

$$n = 2,68e-020$$

Hasil perhitungannya yaitu:

$$\Delta\beta = 3,1447e006$$

$$\eta = 6,3199e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 1,6855e-035 \text{ W}$$

$$\text{PFWM} = -317,7328 \text{ dBm}$$

10. Pada kanal 10 dengan $\lambda = 1553,33$

$$\alpha = 0,25 \text{ dB/km}$$

$$d = 4$$

$$L = 73,72 \text{ km}$$

$$c = 3e8 \text{ m/s}$$

$$\Delta f = 100 \text{ GHz}$$

$$\frac{\partial D}{\partial \lambda} = 0,075 \text{ ps/km.nm}^2$$

$$X_{1111}^2 = 7,4e-036$$

$$A_{eff} = 64 \text{ } \mu\text{m}^2$$

$$n = 2,68e-020$$

Hasil perhitungannya yaitu:

$$\Delta\beta = 3,1399e006$$

$$\eta = 6,3395e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 1,6924e-035 \text{ W}$$

$$PFWM = -317,7149 \text{ dBm}$$

2. FWM HUT Jember – Hut Klakah Jalur PU *Port* 7 dengan dispersi = 0

1. Pada kanal 1 dengan $\lambda = 1560,61$

$$\Delta\beta = 31,0582$$

$$\eta = 6,4789e-005$$

$$P_{FWM} = 1,71335e-025 \text{ W}$$

$$P_{FWM} = -217,6611 \text{ dBm}$$

2. Pada kanal 2 dengan $\lambda = 1559,79$

$$\Delta\beta = 30,9930$$

$$\eta = 6,5062e-005$$

$$P_{FWM} = 1,7226e-025 \text{ W}$$

$$P_{FWM} = -217,6382 \text{ dBm}$$

3. Pada kanal 3 dengan $\lambda = 1558,98$

$$\Delta\beta = 30,9286$$

$$\eta = 6,5333e-005$$

$$P_{FWM} = 1,7315e-025 \text{ W}$$

$$P_{FWM} = -217,6157 \text{ dBm}$$

4. Pada kanal 4 dengan $\lambda = 1558,17$

$$\Delta\beta = 30,8644$$

$$\eta = 6,5605e-005$$

$$P_{FWM} = 1,7406e-025 \text{ W}$$

$$P_{FWM} = -217,5931 \text{ dBm}$$

5. Pada kanal 5 dengan $\lambda = 1557,36$

$$\Delta\beta = 30,8003$$

$$\eta = 6,5878e-005$$

$$P_{FWM} = 1,7496e-025 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -217,5705 \text{ dBm}$$

6. Pada kanal 6 dengan $\lambda = 1556,55$

$$\Delta\beta = 30,7363$$

$$\eta = 6,6153e-005$$

$$P_{\text{FWM}} = 1,7588e-025 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -217,5479 \text{ dBm}$$

7. Pada kanal 7 dengan $\lambda = 1555,75$

$$\Delta\beta = 30,6731$$

$$\eta = 6,6426e-005$$

$$P_{\text{FWM}} = 1,7678e-025 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -217,5256 \text{ dBm}$$

8. Pada kanal 8 dengan $\lambda = 1554,94$

$$\Delta\beta = 30,6093$$

$$\eta = 6,6703e-005$$

$$P_{\text{FWM}} = 1,7771e-025 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -217,5030 \text{ dBm}$$

9. Pada kanal 9 dengan $\lambda = 1554,13$

$$\Delta\beta = 30,5456$$

$$\eta = 6,6982e-005$$

$$P_{\text{FWM}} = 1,7863e-025 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -217,4804 \text{ dBm}$$

10. Pada kanal 10 dengan $\lambda = 1553,33$

$$\Delta\beta = 30,4827$$

$$\eta = 6,7258e-005$$

$$P_{\text{FWM}} = 1,7956e-025 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -217,4580 \text{ dBm}$$

3. FWM HUT Jember – Hut Klakah Jalur PU *Port 7* dengan dispersi = 61. Pada kanal 1 dengan $\lambda = 1560,61$

$$\Delta\beta = 4,7763e006$$

$$\eta = 2,7396e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 7,2458e-036 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -321,3992 \text{ dBm}$$

2. Pada kanal 2 dengan $\lambda = 1559,79$

$$\Delta\beta = 4,7688e006$$

$$\eta = 2,7483e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 7,2763e-036 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -321,3809 \text{ dBm}$$

3. Pada kanal 3 dengan $\lambda = 1558,98$

$$\Delta\beta = 4,7614e006$$

$$\eta = 2,7568e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 7,3066e-036 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -321,3629 \text{ dBm}$$

4. Pada kanal 4 dengan $\lambda = 1558,17$

$$\Delta\beta = 4,7540e006$$

$$\eta = 2,7654e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 7,3370e-036 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -321,3448 \text{ dBm}$$

5. Pada kanal 5 dengan $\lambda = 1557,36$

$$\Delta\beta = 4,7466e006$$

$$\eta = 2,7741e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 7,3676e-036 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -321,3267 \text{ dBm}$$

6. Pada kanal 6 dengan $\lambda = 1556,55$

$$\Delta\beta = 4,7392e006$$

$$\eta = 2,7828e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 7,3983e-036 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -321,3087 \text{ dBm}$$

7. Pada kanal 7 dengan $\lambda = 1555,75$

$$\Delta\beta = 4,7319e006$$

$$\eta = 2,7914e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 7,4288e-036 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -321,2908 \text{ dBm}$$

8. Pada kanal 8 dengan $\lambda = 1554,94$

$$\Delta\beta = 4,7245e006$$

$$\eta = 2,8001e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 7,4598e-036 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -321,2727 \text{ dBm}$$

9. Pada kanal 9 dengan $\lambda = 1554,13$

$$\Delta\beta = 4,7171e006$$

$$\eta = 2,8089e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 7,4910e-036 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -321,2546 \text{ dBm}$$

10. Pada kanal 10 dengan $\lambda = 1553,33$

$$\Delta\beta = 4,7098e006$$

$$\eta = 2,8176e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 7,5219e-036 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -321,2367 \text{ dBm}$$

4. FWM HUT Jember – Hut Klakah Jalur PU *Port 7* dengan Daya Input Tidak Sama

1. Pada kanal 1 dengan $\lambda = 1560,61$, dan input 0,1585

$$\Delta\beta = 3,1842e006$$

$$\eta = 6,1641e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 2,2307e-035 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -316,5155 \text{ dBm}$$

2. Pada kanal 2 dengan $\lambda = 1559,79$, dan input 0,275

$$\Delta\beta = 3,1792e006$$

$$\eta = 6,1835e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 2,2401e-035 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -316,4973 \text{ dBm}$$

3. Pada kanal 3 dengan $\lambda = 1558,98$, dan input 0,125

$$\Delta\beta = 3,1743e006$$

$$\eta = 6,2028e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 1,0644e-035 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -319,7289 \text{ dBm}$$

4. Pada kanal 4 dengan $\lambda = 1558,17$, dan input 0,075

$$\Delta\beta = 3,1693e006$$

$$\eta = 6,2222e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 3,3037e-036 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -324,81 \text{ dBm}$$

5. Pada kanal 5 dengan $\lambda = 1557,36$, dan input 0,085

$$\Delta\beta = 3,1644e006$$

$$\eta = 6,2417e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 7,9620e-036 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -320,9898 \text{ dBm}$$

6. Pada kanal 6 dengan $\lambda = 1556,55$, dan input 0,3

$$\Delta\beta = 3,1595e006$$

$$\eta = 6,2612e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 1,6204e-035 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -317,9039 \text{ dBm}$$

7. Pada kanal 7 dengan $\lambda = 1555,75$, dan input 0,1520

$$\Delta\beta = 3,1546e006$$

$$\eta = 6,2805e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 3,6847e-035 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -314,3359 \text{ dBm}$$

8. Pada kanal 8 dengan $\lambda = 1554,94$, dan input 0,1925

$$\Delta\beta = 3,1497e006$$

$$\eta = 6,3002e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 1,6651e-035 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -317,7857 \text{ dBm}$$

9. Pada kanal 9 dengan $\lambda = 1554,13$, dan input 0,135

$$\Delta\beta = 3,1447e006$$

$$\eta = 6,3199e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 9,5701e-036 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -320,1908 \text{ dBm}$$

10. Pada kanal 10 dengan $\lambda = 1553,33$, dan input 0,087

$$\Delta\beta = 3,1399e006$$

$$\eta = 6,3395e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 9,6096e-036 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -320,1730 \text{ dBm}$$

5. PFWM HUT Jember – Hut Klakah Jalur PU *Port 7* dengan Spasi Kanal 300 GHz.

1. Pada Kanal 1 dengan frekuensi = 192,1 dan $\lambda = 1560,61$

$$\Delta\beta = 2,8659e007$$

$$\eta = 7,6097e-017$$

$$P_{\text{FWM}} = 2,0126e-037 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -336,9624 \text{ dBm}$$

2. Pada Kanal 2 dengan frekuensi = 192,4 dan $\lambda = 1558,17$

$$\Delta\beta = 2,8525e007$$

$$\eta = 7,6815e-017$$

$$P_{\text{FWM}} = 2,0380e-037 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -336,9080 \text{ dBm}$$

3. Pada Kanal 3 dengan frekuensi = 192,7 dan $\lambda = 1555,75$

$$\Delta\beta = 2,8392e007$$

$$\eta = 7,7534e-017$$

$$P_{\text{FWM}} = 2,0635e-037 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -336,8540 \text{ dBm}$$

4. Pada Kanal 4 dengan frekuensi = 193 dan $\lambda = 1553,33$

$$\Delta\beta = 2,8260e007$$

$$\eta = 7,8262e-017$$

$$P_{\text{FWM}} = 2,0893e-037 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -336,7999 \text{ dBm}$$

5. Pada Kanal 5 dengan frekuensi = 193,3 dan $\lambda = 1550,92$

$$\Delta\beta = 2,8128e007$$

$$\eta = 7,8994e-017$$

$$P_{\text{FWM}} = 2,1154e-037 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -336,7460 \text{ dBm}$$

6. Pada Kanal 6 dengan frekuensi = 193,6 dan $\lambda = 1548,52$

$$\Delta\beta = 2,7998e007$$

$$\eta = 7,9732e-017$$

$$P_{\text{FWM}} = 2,1418e-037 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -336,6922 \text{ dBm}$$

7. Pada Kanal 7 dengan frekuensi = 193,9 dan $\lambda = 1546,12$

$$\Delta\beta = 2,7868e007$$

$$\eta = 8,0477e-017$$

$$P_{\text{FWM}} = 2,1686e-037 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -336,6383 \text{ dBm}$$

8. Pada Kanal 8 dengan frekuensi = 194,2 dan $\lambda = 1543,73$

$$\Delta\beta = 2,7739e007$$

$$\eta = 8,1228e-017$$

$$P_{\text{FWM}} = 2,1956e-037 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -336,5845 \text{ dBm}$$

9. Pada Kanal 9 dengan frekuensi = 194,5 dan $\lambda = 1541,35$

$$\Delta\beta = 2,7611e007$$

$$\eta = 8,1983e-017$$

$$P_{\text{FWM}} = 2,2228e-037 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -336,5309 \text{ dBm}$$

10. Pada Kanal 10 dengan frekuensi = 194,8 dan $\lambda = 1538,98$

$$\Delta\beta = 2,7484e007$$

$$\eta = 8,2744e-017$$

$$P_{\text{FWM}} = 2,2504e-037 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -336,4775 \text{ dBm}$$

6. PFWM HUT Jember – Hut Klakah Jalur PU *Port 7* dengan Spasi Kanal Tidak Sama

1. Pada Kanal 1 dengan frekuensi = 192,1 dan $\lambda = 1560,61$

$$\Delta\beta = 1,2737e007$$

$$\eta = 3,8525e-016$$

$$P_{\text{FWM}} = 1,0189e-036 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -329,9187 \text{ dBm}$$

2. Pada Kanal 2 dengan frekuensi = 192,3 dan $\lambda = 1558,99$

$$\Delta\beta = 2,8570e007$$

$$\eta = 7,6572e-017$$

$$P_{\text{FWM}} = 2,0294e-037 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -336,9263 \text{ dBm}$$

3. Pada Kanal 3 dengan frekuensi = 192,6 dan $\lambda = 1556,55$

$$\Delta\beta = 5,0553e007$$

$$\eta = 2,4456e-017$$

$$P_{\text{FWM}} = 6,5020e-038 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -341,8695 \text{ dBm}$$

4. Pada Kanal 4 dengan frekuensi = 193 dan $\lambda = 1553,33$

$$\Delta\beta = 7,85e007$$

$$\eta = 1,0142e-017$$

$$P_{\text{FWM}} = 2,7077e-038 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -345,6741 \text{ dBm}$$

5. Pada Kanal 5 dengan frekuensi = 193,5 dan $\lambda = 1549,32$

$$\Delta\beta = 1,1217e008$$

$$\eta = 4,9675e-018$$

$$P_{\text{FWM}} = 1,333e-038 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -348,7516 \text{ dBm}$$

6. Pada Kanal 6 dengan frekuensi = 194,1 dan $\lambda = 1544,53$

$$\Delta\beta = 3,0868e006$$

$$\eta = 6,5593e-015$$

$$P_{\text{FWM}} = 1,7711e-035 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -317,5175 \text{ dBm}$$

7. Pada Kanal 7 dengan frekuensi = 194,2 dan $\lambda = 1543,73$

$$\Delta\beta = 1,2328e007$$

$$\eta = 4,1122e-016$$

$$P_{\text{FWM}} = 1,1115e-036 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -329,5408 \text{ dBm}$$

8. Pada Kanal 8 dengan frekuensi = 194,4 dan $\lambda = 1542,14$

$$\Delta\beta = 2,7653e007$$

$$\eta = 8,1732e-017$$

$$P_{\text{FWM}} = 2,2137e-037 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -336,5487 \text{ dBm}$$

9. Pada Kanal 9 dengan frekuensi = 194,7 dan $\lambda = 1539,77$

$$\Delta\beta = 4,8935e007$$

$$\eta = 2,61e-017$$

$$P_{\text{FWM}} = 7,091e-038 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -341,4929 \text{ dBm}$$

10. Pada Kanal 10 dengan frekuensi = 195,1 dan $\lambda = 1536,61$

$$\Delta\beta = 4,8635e007$$

$$\eta = 2,6423e-017$$

$$P_{\text{FWM}} = 7,2085e-038 \text{ W}$$

$$P_{\text{FWM}} = -341,4216 \text{ dBm}$$

3. Dokumentasi Alat



Gambar 3.1 DWDM BWS 1600G



Gambar 3.2 DWDM BWS 1600G



Gambar 3.3 OSN 3500



Gambar 3.4 OSN 7500



Gambar 3.5 OSN 7500