

**ANALISIS PERBANDINGAN SISTEM TRANSMISI SERAT
OPTIK ANTARA METODE CWDM DENGAN DWDM PADA
JARINGAN KOMUNIKASI STUDI KASUS “UNIVERSITAS
MULAWARMAN”**

SKRIPSI

untuk memenuhi salah satu persyaratan
mencapai derajat Sarjana S1



Disusun oleh:

Dicky Edwin Eko P

NIM : 14524028

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta**

2019

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS PERBANDINGAN SISTEM TRANSMISI SERAT
OPTIK ANTARA METODE CWDM DENGAN DWDM PADA
JARINGAN KOMUNIKASI STUDI KASUS “UNIVERSITAS
MULAWARMAN”**

TUGAS AKHIR

ISLAM

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**

Disusun oleh:

Dicky Edwin Eko P

NIM : 14524028

Yogyakarta, 15 juli 2019

Menyetujui,

Pembimbing 1

Pembimbing 2

**Tito Yuwono, S.T, M.Sc
005240102**

**Dzata Farahiyah, S.T, M.Sc
155220509**

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

ANALISIS PERBANDINGAN SISTEM TRANSMISI SERAT
OPTIK ANTARA METODE CWDM DENGAN DWDM PADA
JARINGAN KOMUNIKASI STUDI KASUS “UNIVERSITAS
MULAWARMAN”

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Dicky Edwin Eko P.
14524028

Telah dipertahankan di depan dewan penguji

Pada tanggal: 12 Agustus 2019

Susunan dewan penguji

Ketua Penguji : Dzata Farahiyah, S.T, M.Sc, 

Anggota Penguji 1: Elvira Sukma Wahyuni, S.Pd, M.Eng, 

Anggota Penguji 2: Ida Nurcahyani, S.T, M.Eng, 

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana

Tanggal: 12 Agustus 2019



Ketua Program Studi Teknik Elektro


Aziz Amrulloh, S.T, M.Eng, Ph.D

045240101

PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan Saya juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah di tulis atau di terbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Skripsi yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal penggunaan informasi dan materi Skripsi terkait paten maka akan diskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut diatas.

Yogyakarta, 15 Juli 2019

Dicky Edwin Eko P



KATA PENGANTAR



Assalamu'alaykum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, karena rahmat serta karunia-NYA sehingga Tugas Akhir yang berjudul: **“ANALISIS PERBANDINGAN SISTEM TRANSMISI SERAT OPTIK ANTARA METODE CWDM DENGAN DWDM PADA JARINGAN KOMUNIKASI STUDI KASUS UNIVERSITAS MULAWARMAN”** ini dapat terselesaikan dengan baik dan lancar. Tak lupa pula Shalawat dan Salam tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW. Yang menjadi teladan bagi kita.

Penelitian ini dilakukan di Universitas Mulawarman, Samarinda, Kalimantan Timur. Tujuan penulisan laporan Tugas Akhir ini sebagai salah satu syarat kelulusan pada jenjang Pendidikan Strata Satu (S1) Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia dan juga agar dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Dalam penulisan laporan tugas akhir ini penulis mendapatkan bantuan dari berbagai pihak untuk itu penulis mengucapkan banyak terima kasih atas bantuan dan dukungannya. Penulis mengucapkan terima kasih antara lain kepada:

1. Kedua orang tua penulis atas semua dukungan, semangat, serta doa yang telah mereka berikan.
2. Bapak Yusuf Aziz Amrulloh, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Tito Yuwono, S.T., M, Sc. selaku Dosen Pembimbing 1 Tugas Akhir yang telah mendampingi dan memberikan berbagai masukan dalam penulisan laporan ini.

4. Ibu Dzata Farahiyah, S.T., M, Sc. selaku Dosen Pembimbing 2 Tugas Akhir yang telah memberikan berbagai masukan dan membimbing dalam penulisan laporan ini.
5. Segenap Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia yang telah membimbing dan memberikan ilmunya selama penulis duduk di bangku kuliah.
6. Adik-Adik penulis yang selalu memberikan semangat untuk mengerjakan Tugas Akhir ini..
7. Hanif dan Hasbian yang menjadi teman diskusi dalam penyelesaian Tugas Akhir ini serta semangat, dorongan dan motivasi untuk suksesnya Tugas Akhir ini.
8. Teman spesial yang selalu mendukung penulis.
9. Teman – teman Teknik Elektro UII pada umumnya dan khususnya angkatan 2014 atas doa dan dukungannya.
10. Pihak – pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu, baik secara langsung maupun tidak langsung telah membantu penulis dalam penyelesaian laporan ini yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

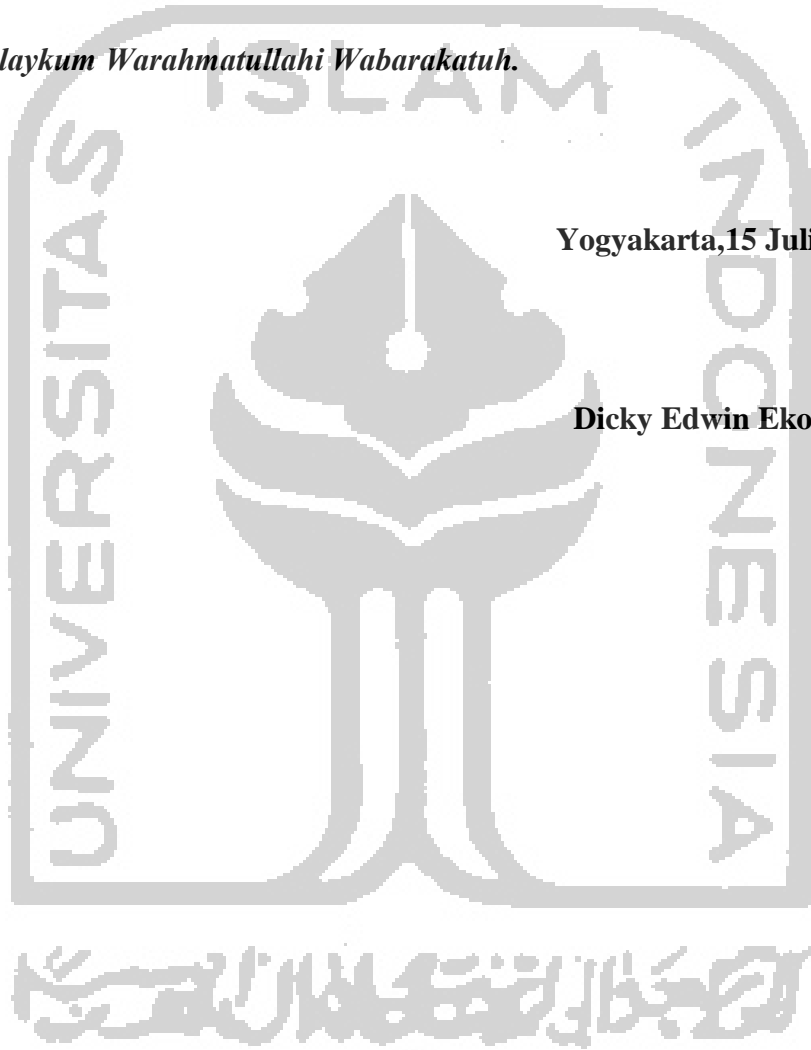


Dalam penulisan laporan ini penulis menyadari masih terdapat kekurangan untuk itu penulis memohon maaf dikarenakan keterbatasan yang dimiliki penulis baik dalam segi pengalaman maupun segi pengetahuan, sehingga penulisan laporan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi pembaca dan penggunanya.

Wassalamu'alaykum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 15 Juli 2019

Dicky Edwin Eko P



ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

P_t	= Daya transmit (dBm)
P_r	= Daya yang berhasil diterima (dBm)
α_c	= Redaman konektor (dB/buah)
N_c	= Jumlah konektor (buah)
α_f	= <i>Attenuasi</i> (dB/Km)
L_{link}	= Jarak total kabel optik (Km)
α_s	= Redaman sambungan (dB/Sambungan)
N_s	= Jumlah sambungan (buah)
M_s	= Margin sistem (dB)
L_{sis}	= jarak maksimum transmisi (Km)
t_r	= <i>Rise Time</i> total (ps)
t_{tx}	= <i>Rise Time</i> sumber optik (ps)
t_{rx}	= <i>Rise Time</i> detektor optik (ps)
t_f	= Dispersi total Serat (ps)
D	= Dispersi kromatik (ps/nm.km)
L	= Panjang <i>link</i> (Km)
α_λ	= Lebar spektral (nm)
CWDM	= <i>Coarse Wavelength Division Multiplexing</i>
DWDM	= <i>Dense Wavelength Division Multiplexing</i>
ITU-T	= <i>International Telecommunication Union</i>
LED	= <i>Light Emitting Diode</i>
NRZ	= <i>Non-Return-To-Zero</i>
OLT	= <i>Optical Line Terminal</i>
ODC	= <i>Optical Distribution Cabinet</i>

- ODP = *Optical Distribution Point*
- ONU = *Optical Unit Network*
- RZ = *Return-To-Zero*
- STM = *Synchronous Transport Module*
- SDH = *Synchronous Digital Hierarchy*
- WDM = *Wavelength Division Multiplexing*



ABSTRAK

Seiring dengan semakin banyaknya kegiatan akademika yang tidak terlepas dari sarana telekomunikasi untuk dapat mengakses data, suara dan video yang membutuhkan *bandwidth* yang tinggi di lingkungan Universitas Mulawarman maka di lakukan peningkatan jaringan *fiber optic* dengan menggunakan teknologi *Coarse Wavelength Division Multiplexing* (CWDM) untuk memenuhi kebutuhan mahasiswa Universitas Mulawarman. Perancangan *fiber optic* pada penelitian kali ini juga akan membandingkan sistem CWDM dengan sistem DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) dimana dalam implementasinya nilai *Power Budget* untuk sistem CWDM sebesar -11,495 dBm dan sistem DWDM sebesar -5,217 dBm memenuhi persyaratan dalam performansi pengiriman data untuk dapat diterima oleh detektor optik dengan jarak maksimal transmisi sistem CWDM sejauh 51,9 Km dan sistem DWDM sejauh 97,5 dimana jarak total yang akan di implementasikan hanya sejauh 14,89 Km. Untuk perhitungan *Rise Time* masing-masing sistem memiliki hasil dibawah nilai maksimal dari format NRZ sebesar 1125 ps untuk sistem CWDM dan 70 ps untuk sistem DWDM. Sedangkan untuk kebutuhan *bandwidth* terbesar Universitas Mulawarman adalah 18.666 Mbps, sehingga diperlukan 2 buah perangkat DWDM yang akan menghasilkan *bandwidth* sebesar 20 Gbps sedangkan untuk CWDM diperlukan 36 buah perangkat yang akan menghasilkan 19.904 Mbps untuk dapat memenuhi kebutuhan *bandwidth* Universitas Mulawarman

Kata Kunci : *fiber optic, bandwidth, Perancangan Jaringan, Power Budget, Rise Time*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN.....	viii
ABSTRAK.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Studi Literatur	3
2.2 Tinjauan Teori.....	4
2.2.1 Sistem Komunikasi Serat Optik.....	4
2.2.2 Fiber To The Building	5
2.2.3 CWDM dan DWDM	6
2.2.4 Mekanisme Penguatan Pada CWDM Dan DWDM	8
2.2.5 Universitas Mulawarman.....	9
2.2.6 Perhitungan Power Budget	10

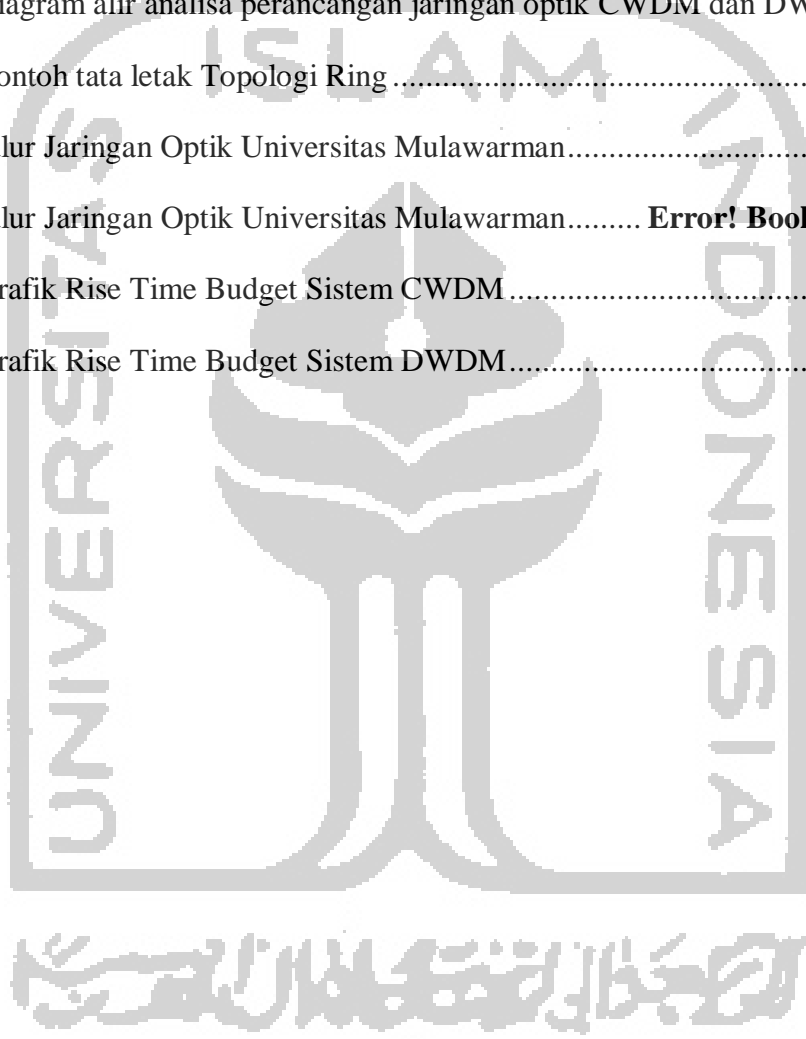
2.2.7 Perhitungan Rise Time Budget	11
2.3 Parameter Kebutuhan <i>Bandwidth</i>	12
2.3.1 Estimasi Kenaikan Pelanggan dan Estimasi Pemakaian <i>Bandwidth</i>	12
BAB 3 METODOLOGI	13
3.1 Metode Analisis.....	13
3.2 Parameter Perencanaan	14
3.2.1 Topologi Jaringan.....	14
3.2.2 Perancangan Jalur Jaringan Kabel Optik	15
3.2.3 Penentuan Jenis dan Panjang Gelombang	16
3.2.4 Jumlah <i>Bandwidth</i> dan Jumlah pelanggan Jaringan Optik Universitas Mulawarman Tahun 2014 sampai dengan 2018	19
3.3 Analisis Ekonomi	20
3.3.1 <i>Bill of Quantity (BOQ)</i>	20
3.3.2 <i>Capital Expenditure (Capex) dan Operating Expenditure (Opex)</i>	20
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Perhitungan Perencanaan	21
4.1.1 Perhitungan <i>Power Budget</i>	21
4.1.2 Analisa Perhitungan <i>Power Budget</i>	22
4.1.3 Perhitungan <i>Rise Time Budget</i>	22
4.1.4 Analisa Perhitungan <i>Rise Time Budget</i>	24
4.2 Prediksi Kebutuhan <i>Bandwidth</i> Jaringan Optik Universitas Mulawarman Tahun 2019 Hingga 2023	26
4.2.1 Prediksi Jumlah Pelanggan	26
4.2.2 Prediksi Jumlah <i>Bandwidth</i>	27
4.2.3 Analisa Hasil Prediksi Kebeutuhan <i>Bandwidth</i>	29
4.3 Analisis Ekonomi	30
4.3.1 <i>Capital Expenditure (Capex) Sistem DWDM</i>	30

4.3.2 <i>Operating Expenditure (Opex)</i> Sistem DWDM.....	31
4.3.3 <i>Capital Expenditure (Capex)</i> Sistem CWDM	32
4.3.4 <i>Operating Expenditure (Opex)</i> Sistem CWDM.....	33
4.3.5 Analisa Hasil <i>Capex</i> dan <i>Opex</i>	34
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	35
5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN	38



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema pengiriman informasi	7
Gambar 2.2 Skema pengiriman informasi	8
Gambar 2.3 Gedung Universitas Mulawarman.....	10
Gambar 3.1 Diagram alir analisa perancangan jaringan optik CWDM dan DWDM	13
Gambar 3.2 Contoh tata letak Topologi Ring	14
Gambar 3.3 Jalur Jaringan Optik Universitas Mulawarman.....	16
Gambar 3.4 Jalur Jaringan Optik Universitas Mulawarman.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.1 Grafik Rise Time Budget Sistem CWDM.....	25
Gambar 4.2 Grafik Rise Time Budget Sistem DWDM.....	25



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan CWDM dengan DWDM	9
Tabel 3.1 Jarak Jaringan Optik Universitas Mulawarman.....	15
Tabel 3.2 Data Teknis Perencanaan DWDM Link Universitas Mulawarman.....	17
Tabel 3.3 Data Teknis Perencanaan CWDM Link Universitas Mulawarman.....	18
Tabel 3.4 Data Jumlah Pelanggan Jaringan Internet Universitas Mulawarman	19
Tabel 3.5 Data Jumlah Bandwidth Jaringan Internet Universitas Mulawarman	19
Tabel 4.1 Perhitungan Least Square Jumlah Pelanggan Hingga Tahun 2023	26
Tabel 4.2 Hasil Prediksi Jumlah Pelanggan Hingga Tahun 2023	27
Tabel 4.3 Perhitungan Least Square Bandwidth Hingga Tahun 2023	28
Tabel 4.4 Hasil Prediksi Jumlah Bandwidth Hingga Tahun 2023	29



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Telekomunikasi di bidang internet saat ini menjadi salah satu kebutuhan utama bagi masyarakat modern, Sebagian besar kegiatan yang di lakukan setiap harinya akan terkoneksi dengan jaringan internet yang dapat menghubungkan individu satu dengan lainnya tanpa harus bertatap muka. Selain untuk sarana berkomunikasi, internet saat ini memiliki berbagai layanan bagi kemudahan masyarakat, seperti hiburan, perbankan, keamanan sampai sebagai tempat menyimpan uang secara virtual. Penggunaan internet sebagai salah satu kebutuhan utama ini di tandai dengan peningkatan pengguna internet di Indonesia pada tahun 2018 yang sudah mencapai 143,26 juta jiwa yang merupakan 54,68 % dari populasi 262 juta jiwa masyarakat Indonesia [1].

Dengan semakin camgghinya teknologi yang menggunakan jaringan internet di Universitas Mulawarman membutuhkan jaringan internet yang dapat memenuhi kebutuhan *Triple Play Services* yang terdiri dari layanan akses internet cepat, suara (*voip*), dan video. Agar dapat memenuhi kebutuhan tersebut maka dilakukan konversi dari kabel tetap (*fixed wireline*) yang berupa kabel tembaga ke kabel fiber optik yang dapat memberikan *bandwith* yang tinggi untuk dapat memenuhi kebutuhan yang akan datang [2].

Untuk mengatasi hal tersebut digunakan perancangan jaringan fiber optik pada jaringan komunikasi Universitas Mulawarman dengan teknologi *multiplexer* yang ada saat ini, yaitu *Coarse Wavelength Division Multiplexing* (CWDM). Namun selain CWDM terdapat juga teknologi *multiplexer* lain yaitu *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) dimana terdapat perbedaan pada kompleksitas, kapasitas yang ditawarkan, biaya dan pasar yang dituju [3].

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana perbandingan hasil performa dari sistem CWDM dengan DWDM untuk Universitas Mulawarman?

2. Bagaimana perbandingan perkiraan biaya untuk sistem CWDM dan DWDM dalam implementasinya untuk Universitas Mulawarman
3. Berapa kebutuhan bandwidth yang di butuhkan oleh Universitas Mulawarman

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah meliputi :

1. Hanya sampai pada menganalisis kebutuhan *bandwidth* jaringan Universitas Mulawarman dengan menggunakan sistem CWDM dan DWDM.
2. Mengenai perangkat secara detail dan merk yang digunakan dalam analisis CWDM dan DWDM tidak di bahas di dalamnya.
3. Pembahasan mencakup analisis perancangan penerapan teknologi serat optik CWDM dan DWDM pada jaringan komunikasi Universitas Mulawarman.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kelayakan implementasi jaringan serat optik berbasis CWDM dan DWDM di Universitas Mulawarman.
2. Mengetahui kebutuhan *bandwith* di Universitas Mulawarman.
3. Mengetahui perencanaan biaya untuk jaringan serat optik berbasis CWDM dan DWDM di Universitas Mulawarman.

1.5 Manfaat Penelitian

Adanya manfaat pada penelitian ini adalah :

1. Menjadi referensi dalam melakukan pembangunan media serat optik berbasis CWDM dan DWDM.
2. Dapat melihat perbedaan hasil antara penggunaan metode CWDM dengan metode DWDM.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Penelitian mengenai analisis CWDM dan DWDM telah banyak dilakukan diantaranya yang dilakukan oleh Saba Al-Rubaye, Anwer Al-Dulaimi, Hamed Al-Raweshidy pada tahun 2009 melakukan pengembangan untuk jaringan *FTTX* yang dapat menyediakan *bandwidth* tinggi dengan tujuan agar kedepannya tidak terjadi kemacetan dalam jaringan fiber optik. Pengembangan dilakukan pada layer fiber optik agar kecepatan data dapat merata pada setiap jaringan dengan hanya membutuhkan biaya yang rendah [4].

Teknologi CWDM sebagai alternatif sistem *multiplexing* yang murah dan mudah dalam implementasinya memiliki kekurangan pada kapasitas jarak dimana CWDM tidak mampu diimplementasikan untuk jarak yang cukup jauh. Maka dari itu dilakukan penelitian oleh Sri Utami, Dodi Zulherman, Fauza Khair dengan menambahkan penguat optik yaitu *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA) kedalam jaringan CWDM agar data dapat sampai ke tujuan dengan baik. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil yang memenuhi kriteria perencanaan jaringan, sehingga penguatan dengan EDFA dapat memberikan performa transmisi jarak jauh pada teknologi CWDM [5].

Selanjutnya terdapat penelitian yang memadukan antara teknologi DWDM dengan teknologi CWDM yang dilakukan oleh S Robinson, S Jasmine dan R Pavithra. Dimana pada sistem jaringan optik nya memiliki 4 jalur transmisi menggunakan teknologi CWDM dan 8 jalur menggunakan teknologi DWDM. Hal ini dilakukan agar transmisi data bisa secepat dan sebanyak teknologi DWDM namun implementasi biaya yang dikeluarkan masih dapat ditekan, dimana jika *bandwidth* yang dibutuhkan sedikit dan hanya bersifat local pada suatu wilayah maka sistem CWDM yang bekerja, sedangkan jika jaringan berada pada puncak tertinggi sistem DWDM akan membantu sistem CWDM agar tidak terjadi penumpukan data [6].

Selain itu dilakukan juga penelitian mengenai kinerja penggunaan jaringan optik pada suatu jaringan internet dengan menggunakan perangkat lunak *cisco transport planner* untuk menentukan spesifikasi kabel fiber optik mana yang paling baik untuk dipergunakan dalam jaringan fiber optik berbasis teknologi DWDM oleh Adela Ika Anindita, Imam Santoso, Ajud Ajulian Zahra sehingga didapatkan kombinasi terbaik dalam perencanaan merancang kabel fiber optik berbasis teknologi DWDM [7].

Banyaknya penelitian mengenai jaringan optik dikarenakan jaringan tersebut memberikan kecepatan pengiriman akses data yang cepat dan stabil serta pengimplementasian jaringan yang dapat digunakan di berbagai bidang dan dapat di gabungkan dengan teknologi komunikasi lain. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Rifa Atul Izza Asyari yang merancang jaringan fiber optik untuk jaringan distribusi 4G-LTE di kabupaten Sleman yang berguna sebagai *backbone*. Dapat dilihat bahwa jaringan fiber optik tidak hanya dapat digunakan langsung sebagai media pengiriman data kepada pelanggan, namun dapat juga digunakan sebagai pendukung teknologi jaringan lain seperti 4G-LTE tersebut yang merupakan jaringan tanpa kabel [8].

2.2 Tinjauan Teori

2.2.1 Sistem Komunikasi Serat Optik

Sistem komunikasi serat optik tersusun dari *transmitter*, *recevier*, dan *information channel*. Pada *Information channels* terbagi menjadi 2 yaitu *Unguided channel* dan *Guided channel*. Sistem *Unguided channel* adalah sistem dimana perangkat yang di pergunakan adalah antenna dengan sistem transmisinya memanfaatkan gelombang elektromagnetik, sedangkan sistem *Guided Channel* adalah sistem dimana perangkat yang dipergunakan adalah media fisik berupa kabel dengan sistem transmisinya memanfaatkan aliran listrik, Serta untuk sistem komunikasi *fiber optic* sendiri sedikit berbeda dengan sistem komunikasi pada umumnya, karena informasi yang dikirimkan dalam bentuk cahaya sehingga diperlukan proses perubahan informasi menjadi cahaya melalui media transmisi kawat konvensional.

Serat optik digunakan untuk media transmisi sinyal digital. Pemilihan serat optik memiliki pilihan antara *single-mode* atau *multi-mode* dan *step index* atau *graded index*. Pemilihan ini bergantung pada jenis sumber cahaya yang digunakan dan besarnya dispersi maksimum yang diizinkan. Untuk sumber cahaya *Light Emitting Diode* (LED), biasanya digunakan serat *multi-mode*, meskipun LED jenis *edge emitting* bisa digunakan dengan serat *single-mode* dengan laju sampai 560 Mbps sepanjang beberapa kilometer. Untuk *Laser dioda*, bisa digunakan *single-mode* atau *multimode*. Serat *single-mode* mampu menyediakan produk laju data-jarak yang sangat bagus (mampu mencapai 30 Gbps/km) [8].

Beberapa macam komponen *fiber optic*, yaitu :

a. *Optical Transmitter*

Optical Transmitter merupakan komponen pengirim yang akan memproses sinyal-sinyal analog atau digital menjadi sebuah bentuk sinyal cahaya dan akan di transmisikan melalui kabel fiber optik. Sumber cahaya yang biasanya digunakan adalah *Light Emitting Diode (LED)* atau *solid state laser diode*.

b. *Fiber Optic Cable*

Kabel fiber optik merupakan komponen utama dalam sistem ini. Kabel fiber optik biasanya terdiri dari satu atau lebih serat fiber yang bertugas menghantarkan sinyal cahaya hingga mencapai *optical receiver*.

c. *Optical Receiver*

Optical Receiver merupakan komponen yang bertugas sebagai penerima cahaya yang telah dikirimkan oleh *optical transmitter*. Setelah cahaya diterima, maka sinyal cahaya akan di *decode* menjadi sinyal-sinyal digital yang berisi informasi yang dikirimkan. *Optical receiver* biasanya berupa sensor cahaya seperti *photocell* atau *photodiode*.

d. *Optical Repeater*

Optical Repeater merupakan komponen penguat sinyal cahaya pada jaringan fiber optik, namun komponen tersebut tidak perlu dipergunakan dalam media fiber optik jika jarak jaringan cukup dekat. *Optical repeater* dibutuhkan jika jaringan kabel serat optik memiliki jarak yang jauh.

2.2.2 Fiber To The Building

FTTB merupakan jaringan fiber optik yang mengirimkan informasi berupa gelombang cahaya dari penyedia layanan telekomunikasi kepada *client* pada suatu daerah. Teknologi ini merupakan pengembangan teknologi sebelumnya yang menggunakan kabel tembaga dengan kecepatan yang terbatas digantikan dengan kabel serat optik yang mempunyai kecepatan serta kestabilitas tinggi sehingga dapat memungkinkan memberikan layanan berupa suara, data dan *video*. Komponen utama *FTTB* :

a. *Optical Line Terminal (OLT)*

Merupakan perangkat yang bersifat aktif, memiliki fungsi sebagai pengubah sinyal elektrik menjadi sinyal optik dengan kemampuan jarak pengiriman mencapai 20 Km. *OLT* tersebut terletak pada sisi *provider* penyedia layanan.

b. *Optical Distribution Cabinet (ODC)*

Merupakan perangkat yang bersifat pasif, memiliki fungsi sebagai tempat *splitter* dan sebagai tempat konversi dari kabel *feeder* (kabel fiber antara OLT dan ODC) kapasitas besar ke kabel distribusi (kabel fiber antara ODC dan ODP) kapasitas kecil. ODC tersebut terletak pada *outdoor* atau *indoor* ruangan.

c. *Optical Distribution Point (ODP)*

Merupakan perangkat yang bersifat pasif, memiliki fungsi sebagai tempat *splitter* dan sebagai tempat akhir dari kabel distribusi yang akan digantikan oleh kabel *drop* (kabel fiber antara *ODP* dan pelanggan). *ONP* tersebut terletak pada *outdoor* atau *indoor* ruangan.

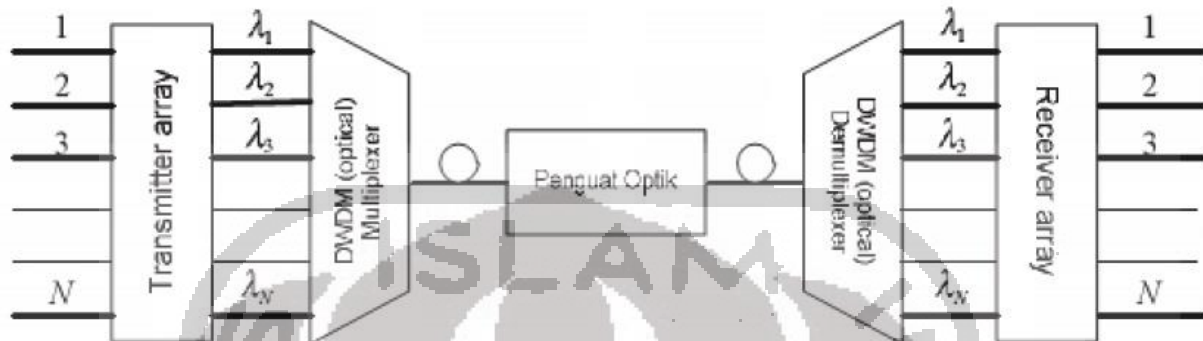
d. *Optical Unit Network (ONU)*

Merupakan perangkat yang bersifat aktif, memiliki fungsi sebagai pengubah sinyal cahaya menjadi sinyal elektrik kembali agar informasi yang di kirim dapat di terima oleh pelanggan berupa layanan suara, data dan video. *ONU* tersebut terletak pada sisi pelanggan.

2.2.3 CWDM dan DWDM

Dalam sistem jaringan komunikasi serat optik diperlukan teknologi dalam perancangan jaringan yang dapat memenuhi kebutuhan akan *bandwidth* yang terus meningkat. Untuk itu dipergunakan teknolog berupa *Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM)* dan *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)* yang mentransmisikan kombinasi sejumlah panjang gelombang yang berbeda dengan menggunakan perangkat *multiplex* panjang gelombang optik dalam satu fiber. Pada sisi penerima terjadi proses kebalikannya dimana panjang gelombang

tersebut dikembalikan ke signal asalnya [9]. Contoh proses transmisi *multiplexing* tersebut terdapat pada gambar 2.1 dimana lingkaran adalah data suara, persegi adalah data gambar dan segitiga adalah data *video*, dimana setelah dilakukan *multiplexing* maka masing-masing data akan di lewatkan pada masing-masing panjang gelombang yang terdapat pada fiber optik.



Gambar 2.1 Skema pengiriman informasi WDM [9]

Dasar dari sistem DWDM dan CWDM adalah *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) dimana kita dapat memperluas kapasitas jaringan tanpa menambah jumlah fiber sehingga dalam implementasinya tidak diperlukan infrastruktur baru sehingga dapat menurunkan biaya optimalisasi. Untuk ilustrasi komponen dapat dilihat pada gambar 2.5

Sedangkan komponen yang terdapat pada sistem DWDM maupun CWDM kurang lebih memiliki kesamaan yaitu :

a. *Transmitter*

Merupakan jembatan antara sumber informasi dengan *multiplexer* dimana informasi akan di *multiplex* agar dapat di transmisikan.

b. *Receiver*

Merupakan penerima sumber informasi yang berasal dari *demultiplexer* yang akan mengembalikan informasi seperti semula sehingga informasi dapat di sampaikan.

c. *DWDM/CWDM Terminal Multiplexer*

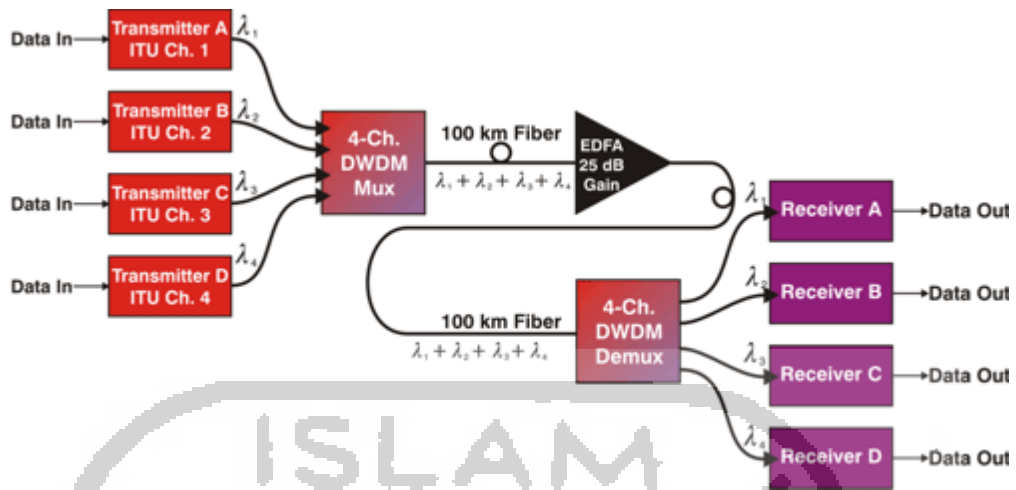
Merupakan tempat terjadinya *multiplexing* dimana setiap informasi akan di pisah sesuai dengan panjang gelombang saat melalui kabel serat optik.

d. *DWDM/CWDM Terminal Demultiplexer*

Merupakan tempat dimana informasi akan di satukan kembali seutuhnya.

e. *Intermediate Optical Terminal (amplifier)*

Merupakan perangkat tambahan jika jaringan fiber optik yang dilalui memiliki jarak yang jauh.



Gambar 2.2 Skema pengiriman informasi [9]

2.2.4 Mekanisme Penguatan Pada CWDM Dan DWDM

Jarak antar kanal yang digunakan oleh DWDM saat ini adalah 0,2 nm s/d 1,2 nm, sedangkan CWDM *fixed* 2 nm. Dengan *channel spacing* yang tetap 2 nm maka teknologi CWDM memiliki keterbatasan dalam hal jumlah panjang gelombang yang dapat dikonsumsi jika mengoptimalkan band frekuensi yang sama seperti DWDM (1470 nm s/d 1610 nm) [9].

Guna mendapatkan jumlah panjang gelombang yang lebih banyak, CWDM akan mengoptimalkan band frekuensi 1290 nm s/d 1610 nm (Kemampuan saat ini 1470 nm – 1610 nm). Namun jika melihat spetrum optik yang dihasilkan, CWDM optimal dalam referensi gelombang 1310 nm dan band 1510 nm (DWDM mengoptimalkan 1510 nm) [9].

Tabel 2.1 Perbandingan CWDM dengan DWDM[9]

NO	Parameter	CWDM	DWDM
1	Channel Spacing	20 nm	0,2 nm – 1,2 nm
2	Band Frekuensi	1290 nm - 1610 nm	1470 nm – 1610 nm
3	Tipe Fiber Optimal	ITU-T G.652, G.653, G.655	ITU-T G.655
4	Aplikasi	Point-To-Point, Chain, Ring, Mesh	Point-To-Point, Chain, Ring, Mesh
5	Area Implementasi Optimal	Metro	Jarak Jauh
6	Besar Perangkat	Kecil	Besar
7	OLA (Regenerator)	Tidak	Ya
8	Konsumsi Daya	Rendah (sekitar 15%)	Tinggi
9	Laser Device	Lebih Murah	Mahal
10	Filter	Rendah (sekitar 50%)	Tinggi

Berdasarkan table 2.1 CWDM dan DWDM memiliki dasar teknologi yang sama, yaitu dapat diterapkan dalam bentuk topologi *point to point*, topologi *chain*, *topologi ring* dan topologi *mesh*. DWDM menggunakan *laser transmitter* yang stabil dan presisi daripada *laser* pada CWDM, yaitu dengan toleransi panjang gelombang sekitar 0,1 nm (presisi dan sangat sempit) dan membutuhkan pendingin karena panas yang di hasilkan. Sedangkan pada sistem CWDM sekitar 2-3 nm, tanpa sistem pendingin dan konsumsi daya yang lebih kecil (hanya sekitar 15% dibanding DWDM) [9].

2.2.5 Universitas Mulawarman

Universitas Mulawarman atau bisa di singkat Unmul, merupakan perguruan tinggi yang berada di kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur. Kampus utamanya terletak di Gunung Kelua, sedangkan kampus lainnya terdapat di Jalan Pahlawan, Jalan Banggeris dan Jalan Flores. Lebih jelas-nya dapat dilihat pada gambar 2.3

Universitas Mulawarman memiliki beberapa kampus utama, yaitu :

1. Kampus Gunung Kelua
2. Kampus Pahlawan
3. Kampus Banggeris
4. Kampus Flores



Gambar 2.3 Gedung Universitas Mulawarman

2.2.6 Perhitungan Power Budget

Perhitungan ini dilakukan untuk menentukan apakah suatu sistem optik dapat berjalan dengan baik atau tidak. *Power budget* memastikan *receiver* dapat menerima daya optik sinyal yang diperlukan untuk mendapatkan *bit error rate* (BER). Tujuan perhitungan *power budget* adalah untuk menentukan apakah parameter desain yang ingin di implementasikan dapat menghasilkan daya sinyal di penerima sesuai dengan tuntutan persyaratan performansi yang diinginkan. Rumusnya dapat dilihat pada persamaan 3.1 berikut :

$$P_r = P_t - (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_f \times L_{link}) - (\alpha_s \times N_s) - M_s \quad (3.1)$$

Untuk mengetahui jarak maksimum transmisi serat optik tanpa penguat maka dapat di hitung dengan persamaan 3.2 berikut :

$$L_{sis} = \frac{P_t - P_r - (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_s \times N_s) - M_s}{\alpha_f} \quad (3.2)$$

Keterangan :

- P_t adalah Daya transmit (dBm)
 P_r adalah Daya yang berhasil diterima (dBm)
 α_c adalah Redaman konektor (dB/buah)
 N_c adalah Jumlah konektor
 α_f adalah *Attenuasi* (dB/Km)
 L_{link} adalah Jarak total kabel optik (Km)
 α_s adalah Redaman sambungan (dB/Sambungan)
 N_s adalah Jumlah sambungan
 M_s adalah Margin sistem (dB)

2.2.7 Perhitungan Rise Time Budget

Perhitungan ini dilakukan untuk menentukan batasan dispersi suatu link serat optik. Tujuan dari *Rise Time Budget* adalah untuk menganalisa apakah kinerja jaringan secara keseluruhan telah tercapai dan mampu memenuhi kebutuhan jaringan yang diinginkan tanpa terganggu oleh dispersi. Rumusnya dapat dilihat pada persamaan 3.3 dan 3.4 berikut :

$$t_f = D \times \alpha_\lambda \times L \quad (3.3)$$

$$t_{sys} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \quad (3.4)$$

Untuk mengetahui hubungan antara *bit rate* dengan *rise time budget* dapat menggunakan persamaan 3.5 dan 3.6 berikut :

$$t_{sys} \leq 0,7/BR \text{ untuk pengkodean dengan format NRZ} \quad (3.5)$$

$$t_{sys} \leq 0,35/BR \text{ untuk pengkodean dengan format RZ} \quad (3.6)$$

Dengan standar perangkat *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH) atau nilai BR yang di pergunakan pada perancangan kali ini yaitu :

$$STM - 4 = 622 \text{ Mbps untuk teknologi CWDM}$$

$$STM - 64 = 10 \text{ Gbps untuk teknologi DWDM}$$

Keterangan :

- t_{sys} adalah *Rise Time* total sistem (ps)
- t_{tx} adalah *Rise Time* sumber optik (ps)
- t_{rx} adalah *Rise Time* detektor optik (ps)
- t_f adalah Dispersi total Serat (ps)
- D adalah Dispersi kromatik (ps/nm.km)
- L adalah Panjang *link* (Km)
- α_λ adalah Lebar spektral (nm)

2.3 Parameter Kebutuhan *Bandwidth*

2.3.1 Estimasi Kenaikan Pelanggan dan Estimasi Pemakaian *Bandwidth*

Estimasi menggunakan metode *regresi linier* dengan perhitungan *least square* yang menggunakan asumsi kurva yang paling benar merupakan kurva dengan minimum total kuadrat deviasi. Dengan aturan x sebagai variable bebas yaitu jumlah pelanggan pada tahun tertentu dan y sebagai variable terikat yaitu jumlah kebutuhan *bandwidth* pada tahun tertentu. Maka hubungan x dan y dinyatakan oleh [10] :

$$y = a + bx \quad (3.7)$$

Sedangkan perhitungan konstanta (a) dan parameter (b) yaitu :

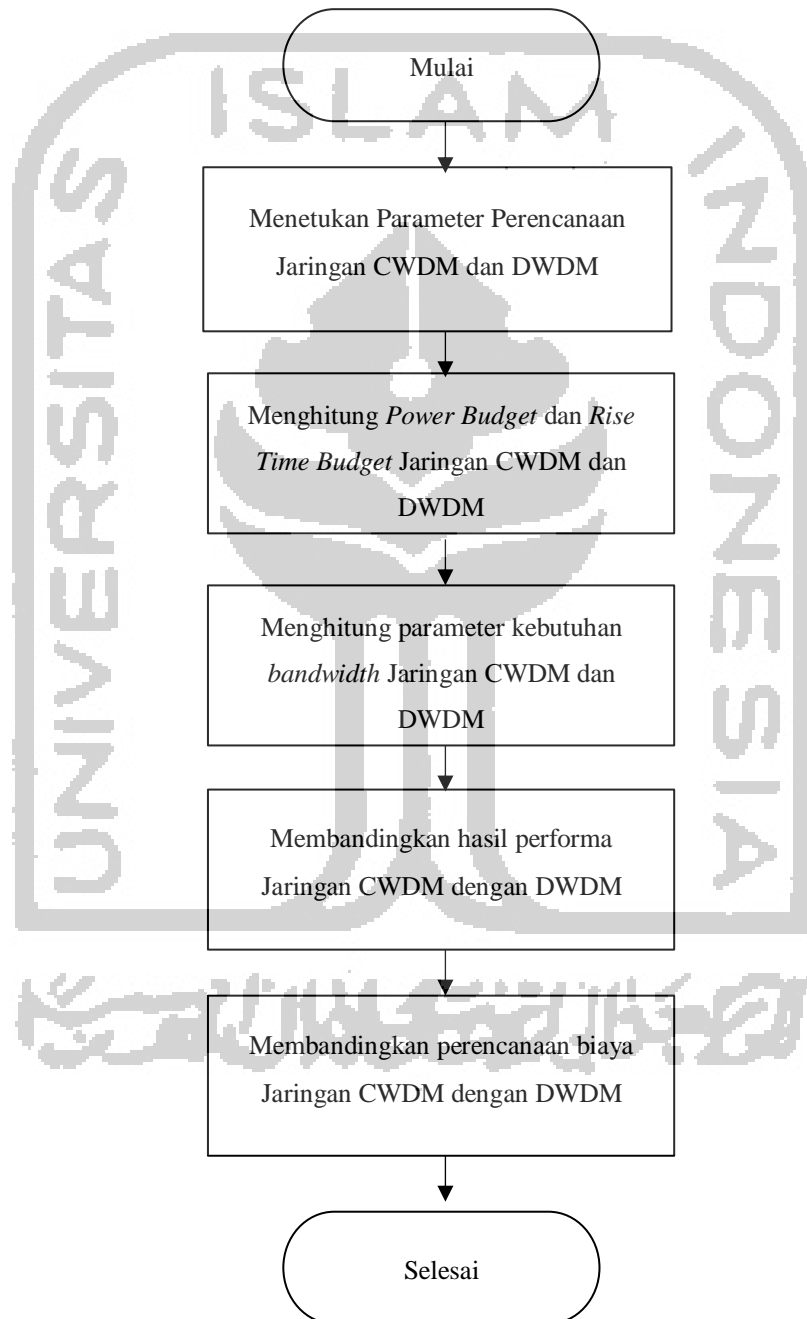
$$a = \frac{\sum Y}{N} \text{ dan } b = \frac{\sum XY}{\sum X^2} \quad (3.8)$$

BAB 3

METODOLOGI

3.1 Metode Analisis

Pada penelitian kali ini dilakukan melalui tahapan-tahapan yang ditampilkan melalui diagram alir pada gambar 3.1 berikut :



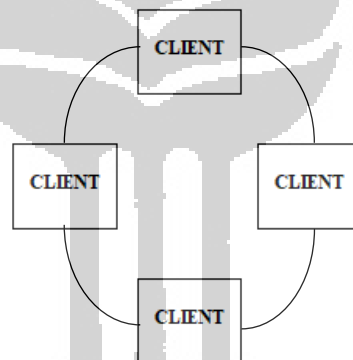
Gambar 3.1 Diagram alir analisa perancangan jaringan optik CWDM dan DWDM

3.2 Parameter Perencanaan

3.2.1 Topologi Jaringan

Pemilihan topologi jaringan yang akan digunakan pada Universitas Mulawarman adalah topologi jaringan *ring* yang ilustrasinya dapat dilihat pada gambar 3.2, dimana dalam implementasinya jaringan ini mudah diterapkan dan *low maintenance* dikarenakan jaringan masih dapat beroperasi walaupun terdapat kabel maupun *client* yang bermasalah. Selain itu topologi *ring* memberikan kelebihan berupa :

1. Penerapan rancangan yang mudah dikarenakan tidak perlu menggunakan banyak perangkat
2. Mampu menampung akses data dalam jumlah besar
3. Mudah dalam mendeteksi permasalahan jaringan kabel optic
4. Hemat dalam penggunaan kabel
5. Mudah dalam mensinkronisasi jaringan



Gambar 3.2 Contoh tata letak Topologi Ring

Untuk jaringan Universitas Mulawarman akan terbagi menjadi 3 tipe dimana jaringan *ring* akan menampung *link* Rektorat Unmul yang akan menghubungkan jaringan Fakultas Kedokteran, jaringan Fakultas Hukum, jaringan Fakultas Kesehatan Masyarakat, jaringan Fakultas Kehutanan, jaringan Fakultas Pertanian dan jaringan Fakultas Ekonomi dan Bisnis. Untuk *link* Rektorat Unmul dengan Unmul Pahlawan akan menggunakan konfigurasi *point to point* yang akan menampung jaringan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan kampus 2 serta jaringan Fakultas Ilmu Budaya dan *link* Rektorat Unmul dengan Unmul Banggeris akan menggunakan juga konfigurasi *point to point* yang akan menampung jaringan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan kampus 1. Dengan adanya pembagian jaringan tersebut maka akan

menggunakan dua model jaringan yang berbeda dengan pusat terminal pada Rektorat Unmul. Untuk jarak masing-masing jaringan terdapat pada table 3.1

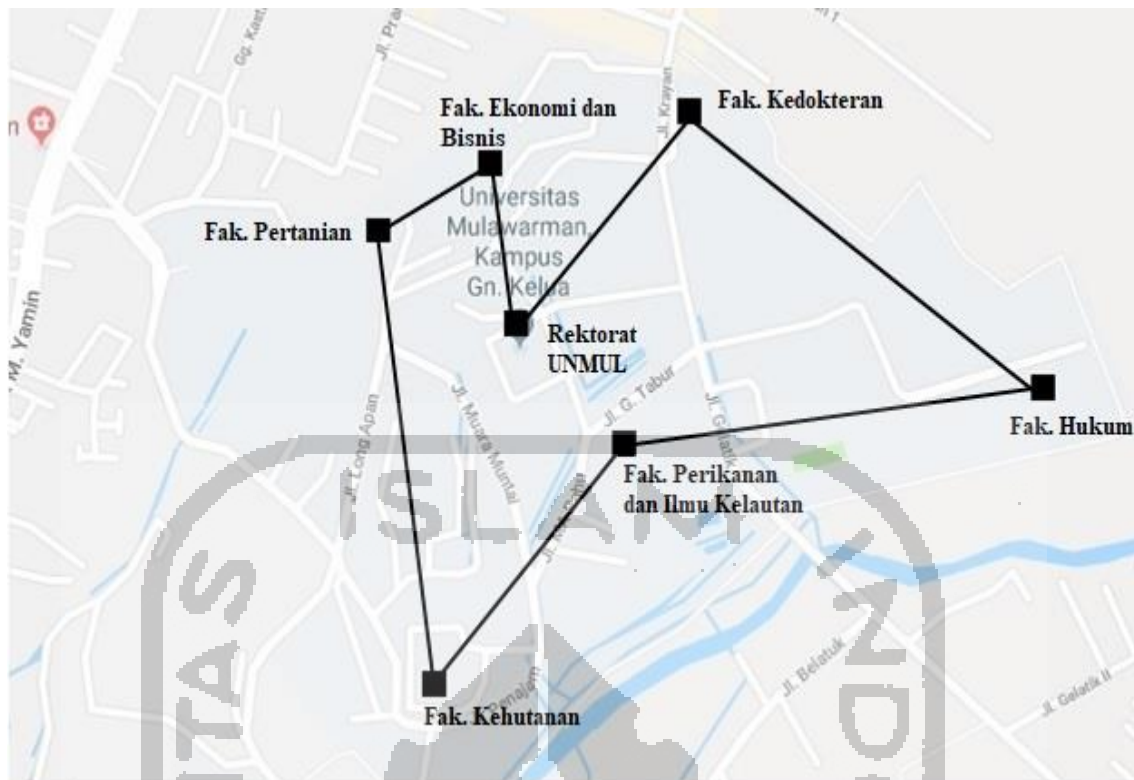
Tabel 3.1 Jarak Jaringan Optik Universitas Mulawarman

NO	Link (End - End)	Jarak (Km)	Panjang Kabel (Km)
1.	Rektorat UNMUL - FKIP Kampus II	3,2	3,2
2.	FKIP Kampus II - Fak. Ilmu Budaya	2,5	2,5
3.	Rektorat UNMUL - FKIP Kampus I	6	6
4.	Rektorat UNMUL - Fak. Kedokteran	0,5	0,5
5.	Fak. Kedokteran - Fak. Hukum	0,7	0,7
6.	Fak. Hukum - Fak. Perikanan dan Ilmu Kelautan	0,55	0,55
7.	Fak. Perikanan dan Ilmu Kelautan - Fak. Kehutanan	0,5	0,5
8.	Fak. Kehutanan - Fak. Pertanian	0,7	0,7
9.	Fak. Pertanian - Fak. Ekonomi dan Bisnis	0,24	0,24
	Jumlah	14,89	14,89

3.2.2 Perancangan Jalur Jaringan Kabel Optik

Pemilihan jalur pemasangan kabel optik merupakan salah satu langkah untuk mengembangkan jaringan kabel optik sebagai pertimbangan penentuan panjang kabel yang dibutuhkan, jumlah sambungan (*splice*) yang dibutuhkan, piranti perangkat yang dibutuhkan, jenis kabel serat optik serta jumlah *power transmit* yang dibutuhkan.

Tujuan perancangan pembangunan jaringan kabel optik di Universitas Mulawarman merupakan pengembangan dari jaringan kabel optik yang telah dimiliki oleh Universitas Mulawarman namun belum maksimal dan menyebar untuk seluruh gedung yang tersebar di beberapa daerah di kota Samarinda. Untuk jaringan kabel optik saat ini belum tersinkronisasi antara gedung satu dengan lainnya dan hanya melayani jaringan untuk masing-masing gedung saja sehingga untuk *monitoring* serta *maintenance* belum dapat di pantau pada satu sistem saja. Untuk peta jalur jaringan serta optik Universitas Mulawarman terdapat pada gambar 3.3 dan 3.4



Gambar 3.3 Jalur Jaringan Optik Universitas Mulawarman

3.2.3 Penentuan Jenis dan Panjang Gelombang

Perangkat yang digunakan terdiri dari STM-4 dan STM-64, STM adalah *Synchronous Transport Module* merupakan struktur *frame* dari teknologi *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH) yang merupakan dasar dari sistem *multiplexing*. alasan penggunaannya adalah STM-4 adalah merupakan perangkat standar pada jaringan dengan teknologi CWDM sedangkan untuk STM-64 merupakan perangkat standar pada jaringan dengan teknologi DWDM. Untuk dapat mengakomodir kanal jaringan, maka akan di pergunakan jumlah perangkat yang sama yaitu sebanyak 9 buah.

Selanjutnya pemilihan *mode* kabel yang akan digunakan. Perencanaan kali ini menggunakan *mode single mode* dikarenakan dapat membawa data dengan *bandwidth* yang lebih besar dibandingkan dengan *multi mode* serta berbanding lurus dengan tujuan penelitian ini yaitu mempersiapkan kebutuhan *bandwidth* yang besar.

Untuk panjang gelombang yang akan di tentukan yaitu CWDM dengan 1310 nm sedangkan DWDM dengan 1550 nm. Parameter tersebut didapat berdasarkan rentang panjang gelombang yang mampu di optimalkan oleh masing-masing teknologi *multiplexing*. Selain itu,

panjang gelombang tersebut sering dipergunakan pada penelitian-penelitian lain mengenai CWDM dan DWDM.

Parameter perencanaan yang digunakan pada jaringan ini, disesuaikan dengan standar yang berlaku di ITU-T G.6.55, dan ITU-T G.652, parameter yang digunakan terdapat pada tabel 3.2 berikut :

Tabel 3.2 Data Teknis Perencanaan DWDM Link Universitas Mulawarman[11]

Data Teknis Perencanaan DWDM Link UNMUL	
1. Parameter Desain	
<i>Bit Rate</i> (B)	10 Gbps (STM-64)
<i>Jarak Link</i> (L_{link})	146,25 km
Format Modulasi	NRZ
Panjang Gelombang Operasi	1550 nm
Margin Operasi (M_s)	3 Db
2. Komponen SKSO	
A. Serat Optik Single Mode : ITU-T G.6.55 (Non Zero Dispersion Shifted Fiber)	
Attenuasi (α_f)	0,3 dB/km
Dispersi Kromatik (D)	3,5 ps/nm.km
B. Optical Interface	
B.1 Pengirim (Transmitter)	
<i>Rise Time</i> (t_{tx})	60 ps
Lebar <i>Spectral</i> ($\sigma\lambda$)	0,1 nm
Daya Transmit (p_{tx})	9 dBm
B.2 Penerima (Receiver)	
<i>Rise Time</i> (t_{rx})	35 ps
Sensitivitas Minimum (p_{rx})	- 38 dBm
C. Komponen Tambahan	
Redaman Konektor (α_c)	0,3 dB/konektor
Redaman <i>Splice</i> (α_z)	0,05 dB/ <i>splice</i>
Gain EDFA (G)	20 dBm
Daya Input EDFA (P_{in-amp})	-14 dBm

Tabel 3.3 Data Teknis Perencanaan CWDM Link Universitas Mulawarman[12]

Data Teknis Perencanaan CWDM Link UNMUL	
1. Parameter Desain	
<i>Bit Rate (B)</i>	622 Mbps (STM-4)
<i>Jarak Link (L_{link})</i>	32,776 km
Format Modulasi	NRZ
Panjang Gelombang Operasi	1310 nm
Margin Operasi (M_s)	9 dB
2. Komponen SKSO	
A. Serat Optik Single Mode : ITU-T G.6.52 (Non Dispersion Shifted Fiber)	
Attenuasi (α_f)	0,5 dB/km
Dispersi Kromatik (D)	3,5 ps/nm.km
B. Optical Interface	
B.1 Pengirim (Transmitter)	
<i>Rise Time (t_{tx})</i>	600 ps
Lebar Spectral (σ_λ)	1 nm
Daya Transmit (p_{tx})	9 dBm
B.2 Penerima (Receiver)	
<i>Rise Time (t_{rx})</i>	500 ps
Sensitivitas Minimum (p_{rx})	- 30 dBm
C. Komponen Tambahan	
Redaman Konektor (α_c)	0,15 dB/konektor
Redaman <i>Splice</i> (α_z)	0,05 dB/ <i>splice</i>
Gain EDFA (G)	33 dBm
Daya Input EDFA (P_{in-amp})	-14 dBm

3.2.4 Jumlah *Bandwidth* dan Jumlah pelanggan Jaringan Optik Universitas Mulawarman Tahun 2014 sampai dengan 2018

Kebutuhan akan *bandwidth* akan meningkat mengikuti semakin meningkatnya juga pelanggan yang akan menggunakan jaringan internet Universitas Mulawarman. Hal ini juga di tunjukkan oleh tabel 3.4 dan tabel 3.5 berikut ini.

Tabel 3.4 Data Jumlah Pelanggan Jaringan Internet Universitas Mulawarman[13]

Tahun	Jumlah Pelanggan (Ribu)
2014	40,871
2015	37,862
2016	38,324
2017	37,951
2018	35,729

Tabel 3.5 Data Jumlah Bandwidth Jaringan Internet Universitas Mulawarman[13]

Tahun	Jumlah bandwidth (Mbps)
2014	984
2015	3200
2016	8000
2017	8000
2018	10400

Walaupun jumlah pelanggan pada tahun tertentu mengalami penurunan namun jumlah *bandwidth* yang digunakan semakin meningkat, dimana pada saat ini kebutuhan internet bukan hanya kebutuhan data, namun juga kebutuhan akan suara dan video.

3.3 Analisis Ekonomi

3.3.1 *Bill of Quantity (BOQ)*

BOQ adalah perkiraan biaya dalam suatu proyek. *BOQ* berhubungan dengan perancangan yang telah dibuat sebelumnya untuk mengetahui perkiraan biaya pekerjaan dalam suatu proyek. Tiga hal pokok dalam *BOQ* yaitu deskripsi pekerjaan, kuantitas beserta unit dan harga satuan pekerjaan. Harga satuan pekerjaan hanya ditentukan dari harga bahan dan upah pekerjaan.

Perancangan *BOQ* pada jaringan ini menggunakan parameter standar dari PT Telkom Akses Indonesia. Hasil *BOQ* meliputi harga barang dan upah jasa pekerja. Estimasi barang yang dihitung adalah kabel *feeder*, pemasangan perangkat CWDM atau DWDM, pemasangan *grounding*, pipa pelindung kabel serta pekerjaan galian. Harga yang digunakan merupakan harga satuan dari bahan tersebut.

3.3.2 *Capital Expenditure (Capex) dan Operating Expenditure (Opex)*

Capex adalah alokasi dana untuk melakukan pembelian, penggantian atau perbaikan segala sesuatu yang diperlukan sebagai aset perusahaan secara fisik. Sedangkan *Opex* adalah alokasi dana untuk melakukan operasional perusahaan agar dapat berjalan normal serta memastikan aset perusahaan dalam kondisi baik dan berjalan sebagaimana mestinya.

Capex dan *Opex* pada jaringan ini merupakan pengelompokan hasil dari perancangan *BOQ*. Biaya yang berhubungan dengan operasional akan dikelompokkan pada *Opex* dan biaya yang berhubungan diluar operasional akan dikelompokkan pada *Capex*. Biaya operasional (*Opex*) meliputi segala sesuatu yang berhubungan dengan berjalannya kegiatan suatu perusahaan, seperti biaya administrasi, biaya promosi dan upah kerja. Sedangkan biaya diluar biaya operasional (*Capex*) seperti biaya bahan dan material perangkat.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Perencanaan

4.1.1 Perhitungan *Power Budget*

Perhitungan ini menggunakan persamaan (3.1) dengan tambahan parameter jumlah konektor sebanyak 18 buah yang berasal dari jumlah client sebanyak 9 buah dengan masing-masing konektor di setiap *client* sebanyak 2 buah, serta jumlah sambungan pada jaringan ini sebanyak 27 buah. Maka *Power Budget* untuk masing-masing teknologi dapat dihitung sebagai berikut :

a. *Power budget* untuk sistem CWDM

$$\begin{aligned} P_r &= P_t - (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_f \times L_{link}) - (\alpha_s \times N_s) - M_s \\ &= 9 - (0,15 \times 18) - (0,5 \times 14,89) - (0,05 \times 27) - 9 \\ &= 9 - 2,7 - 7,445 - 1,35 - 9 \\ &= -11,495 \text{ dBm} \end{aligned}$$

b. *Power budget* untuk sistem DWDM

$$\begin{aligned} P_r &= P_t - (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_f \times L_{link}) - (\alpha_s \times N_s) - M_s \\ &= 9 - (0,3 \times 18) - (0,3 \times 14,89) - (0,05 \times 27) - 3 \\ &= 9 - 5,4 - 4,467 - 1,35 - 3 \\ &= -5,217 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Setelah perhitungan *power budget* di dapatkan maka selanjutnya menghitung apakah sistem dengan teknologi yang dipergunakan sudah mencukupi dalam jarak maksimal transmisi dengan tidak mempergunakan penguat. Untuk dapat menghitung jarak maksimal maka di pergunakan persamaan (3.2) sebagai berikut :

a. Jarak maksimal transmisi sistem CWDM

$$\begin{aligned} L_{sis} &= \frac{P_t - P_r - (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_s \times N_s) - M_s}{\alpha_f} \\ &= \frac{9 - (-30) - (0,15 \times 18) - (0,05 \times 27) - 9}{0,5} = \frac{25,95}{0,5} = 51,9 \text{ Km} \end{aligned}$$

b. Jarak maksimal transmisi sistem DWDM

$$\begin{aligned} L_{sis} &= \frac{Pt - Pr - (\alpha c \times Nc) - (\alpha s \times Ns) - Ms}{\alpha f} \\ &= \frac{9 - (-30) - (0,3 \times 18) - (0,05 \times 27) - 3}{0,3} = \frac{29,25}{0,3} = 97,5 \text{ Km} \end{aligned}$$

4.1.2 Analisa Perhitungan *Power Budget*

Analisa power budget dilakukan sebagai jaminan bahwa daya yang diterima receiver masih berada di atas batas kemampuan dari receiver. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya didapatkan daya yang sampai ke detektor optik sebesar -11,495 dBm untuk CWDM dan -5,217 dBm untuk DWDM masih lebih kecil dibandingkan kemampuan minimum avalanche photodiode sebesar -30 dBm. Maka dapat disimpulkan bahwa jaringan optik tersebut memenuhi kriteria power budget sehingga daya yang diterima oleh receiver tergolong baik.

Selanjutnya perhitungan jarak maksimal yang dapat dilakukan oleh jaringan optik tanpa menggunakan penguat. Berdasarkan parameter yang digunakan, jika jarak maksimal jaringan optik kurang dari jarak link perencanaan dibutuhkan penguat untuk memaksimalkannya.

- a. Jarak total link Universitas Mulawarman = 14,89 Km
- b. Jarak maksimal jaringan optik CWDM tanpa penguat = 51,9 Km
- c. Jarak maksimal jaringan optik DWDM tanpa penguat = 97,5 Km

Dari hasil penjabaran diatas, diketahui bahwa jaringan optik Universitas Mulawarman tersebut dapat di implementasikan dan tidak diperlukannya penguat (*optical amplifier*). Hasil dari perhitungan ini juga sejalan dengan perhitungan yang dilakukan oleh Yorasaki Martha Leza[10].

4.1.3 Perhitungan *Rise Time Budget*

Perhitungan ini menggunakan persamaan (3.5) maka *Rise Time* yang di dapatkan untuk sistem CWDM STM-4 (622 Mbps) dan DWDM STM-10 (10 Gbps) adalah :

$$t_{sis} = \frac{0,7}{BR} = \frac{0,7}{622 \times 10^6} = 1125 \text{ ps} , \text{ untuk sistem CWDM}$$

$$t_{sis} = \frac{0,7}{BR} = \frac{0,7}{10 \times 10^9} = 70 \text{ ps} , \text{ untuk sistem DWDM}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan, maka nilai transmisi yang dapat di terima dengan baik adalah yang mrmiliki total transmisi tidak melebihi 1125 ps untuk sistem CWDM dan 70 ps untuk sistem DWDM dari format pengkodean NRZ.

Selanjutnya adalah menghitung nilai *Rise Time* yang sudah direncanakan pada setiap *link* dengan menggunakan persamaan (3,3) dan (3,4) untuk sistem CWDM :

a. Link Rektorat Unmul – FKIP Kampus II

$$\begin{aligned}
 t_f &= D \times \alpha_\lambda \times L \\
 &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (1 \text{ nm}) \times (3,2 \text{ km}) \\
 &= 11,2 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{sys} &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\
 &= \sqrt{600^2 + 500^2 + 11,2^2} \\
 &= 781,105 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

b. Link FKIP Kampus II – Fak. Ilmu Budaya

$$\begin{aligned}
 t_f &= D \times \alpha_\lambda \times L \\
 &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (1 \text{ nm}) \times (2,5 \text{ km}) \\
 &= 8,75 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{sys} &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\
 &= \sqrt{600^2 + 500^2 + 8,75^2} \\
 &= 781,074 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

Hasil lengkap dapat di lihat pada lampiran 1.

Setelah sistem CWDM di dapatkan , maka selanjutnya adalah menghitung nilai *Rise Time* yang sudah direncanakan pada setiap *link* dengan menggunakan persamaan (3,3) dan (3,4) untuk sistem DWDM :

a. Link Rektorat Unmul – FKIP Kampus II

$$\begin{aligned}
 t_f &= D \times \alpha_\lambda \times L \\
 &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (3,2 \text{ km})
 \end{aligned}$$

$$= 1,12 \text{ ps}$$

$$\begin{aligned} t_{\text{sys}} &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\ &= \sqrt{60^2 + 35^2 + 1,12^2} \\ &= 69,471 \text{ ps} \end{aligned}$$

b. Link FKIP Kampus II – Fak. Ilmu Budaya

$$\begin{aligned} t_f &= D \times \alpha_\lambda \times L \\ &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (2,5 \text{ km}) \\ &= 0,875 \text{ ps} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{\text{sys}} &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\ &= \sqrt{60^2 + 35^2 + 0,875^2} \\ &= 69,467 \text{ ps} \end{aligned}$$

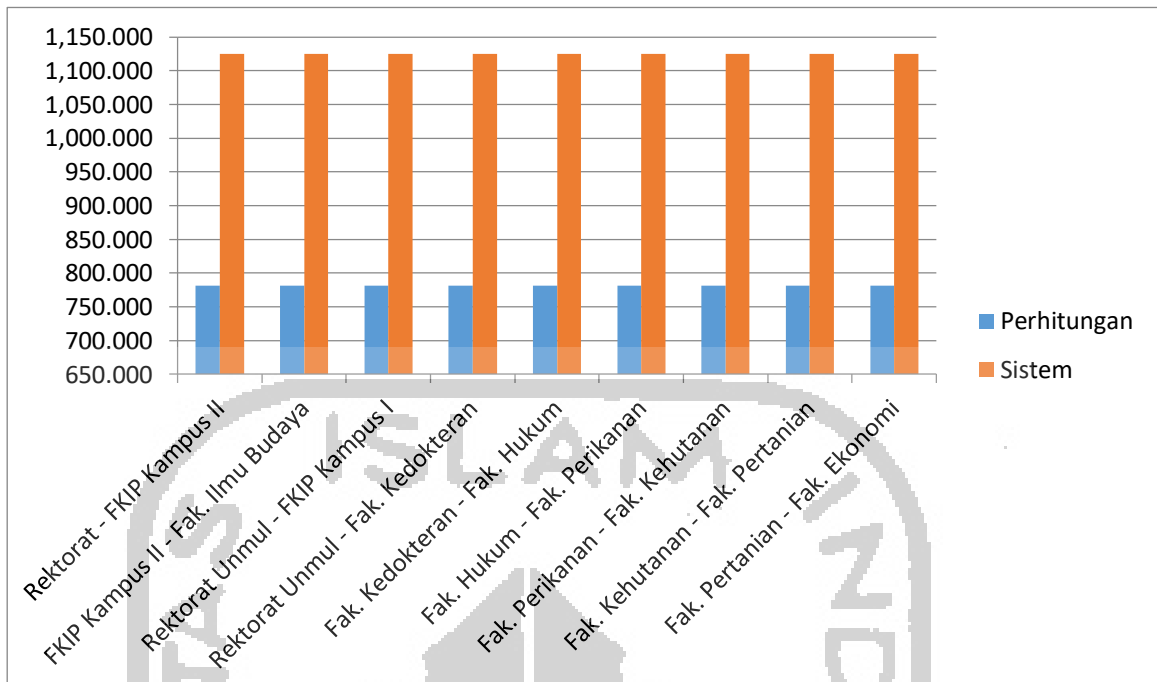
Hasil lengkap dapat di lihat pada lampiran 1.

4.1.4 Analisa Perhitungan *Rise Time Budget*

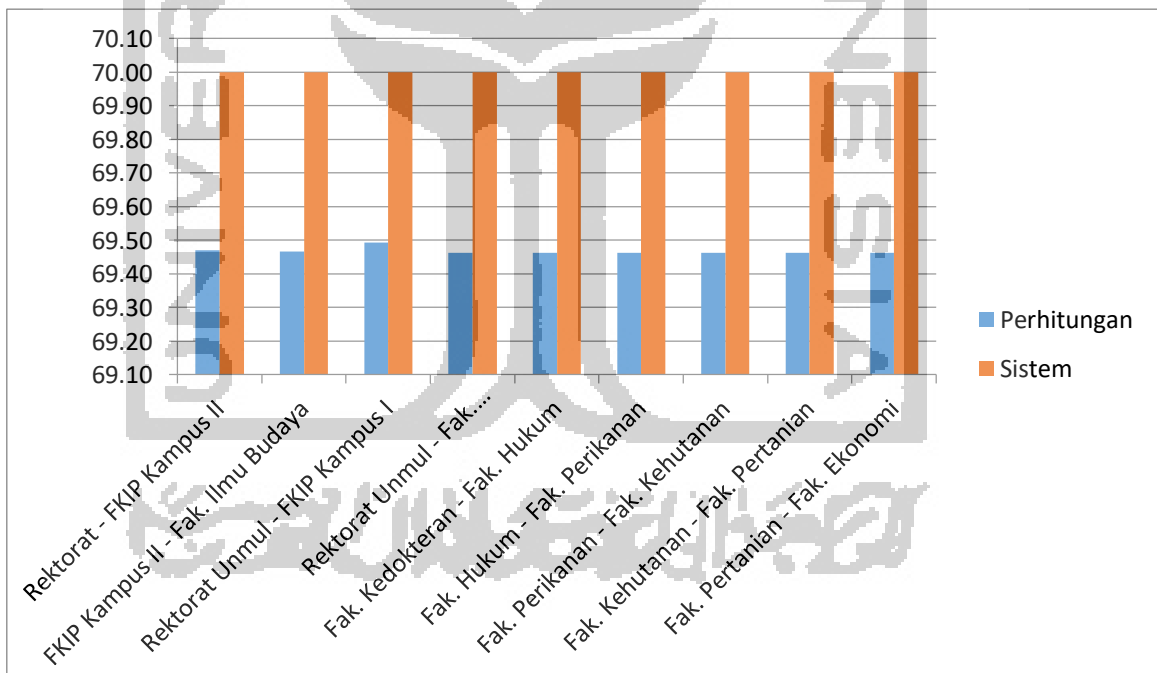
Analisa *power budget* dilakukan sebagai parameter apakah keseluruhan sistem sudah tercapai atau belum, dengan melihat kemampuan sistem menghadapi disperse pada jalur transmisi dan sinyal yang diterima detektor optik masih dapat diterima tanpa adanya distorsi yang akan mengganggu pembacaan sinyal.

Sesuai dengan hasil perhitungan sebelumnya maka nilai *rise time* jaringan optik Universitas Mulawarman sudah memenuhi kriteria untuk dapat di implementasikan, dikarenakan *rise time* jaringan optik masih dibawah batas maksimal sistem yang dipergunakan sebesar 1125 ps untuk sistem CWDM dan 70 ps untuk sistem DWDM. Hasil dari perhitungan ini juga sejalan dengan perhitungan yang dilakukan oleh Yorasaki Martha Leza[10].

Gambar 4.1 dan 4.2 di bawah ini merupakan grafik *rise time budget* jaringan optik Universitas Mulawarman :



Gambar 4.1 Grafik Rise Time Budget Sistem CWDM



Gambar 4.2 Grafik Rise Time Budget Sistem DWDM

4.2 Prediksi Kebutuhan *Bandwidth* Jaringan Optik Universitas Mulawarman Tahun 2019 Hingga 2023

4.2.1 Prediksi Jumlah Pelanggan

Berdasarkan Tabel 3.3 terlihat jumlah pelanggan yang bervariasi dan cenderung mengalami penurunan, melalui tabel 3.3 tersebut maka akan dilakukan penghitungan dengan metode least square yang terdapat pada persamaan (3.7) yang akan di buat kedalam tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Perhitungan Least Square Jumlah Pelanggan Hingga Tahun 2023

x	Y	x^2	Xy
1	40,871	1	40,871
2	37,862	4	75,724
3	38,324	9	114,972
4	37,951	16	151,804
5	35,729	25	178,645
Jumlah			
15	190,737	55	562,016

Dengan hasil tabel tersebut maka x dan y pada persamaan (3.7) adalah :

$$a = \frac{(190,737 \times 55) - (15 \times 562,016)}{5 \times 55 - (15)^2}$$

$$a = 41,206$$

$$b = \frac{5 \times 562,016 - (15 \times 190,737)}{5 \times 55 - (15)^2}$$

$$b = -1,019$$

Dengan hasil yang di dapat pada perhitungan tersebut, didapatkan persamaan *regresi liniear* jumlah pelanggan :

$$y = 112,006 + (-1,019)x \quad (4.1)$$

Prediksi jumlah pelanggan menggunakan persamaan (4.1) dengan memasukkan nilai $x = 6$ hingga $x = 10$ untuk memprediksi jumlah pelanggan tahun 2019 sampai dengan 2023.

$$y^1 = 41,206 + (-1,019)(6) = 35,092$$

$$y^2 = 41,206 + (-1,019)(7) = 34,073$$

$$y^3 = 41,206 + (-1,019)(8) = 33,053$$

$$y^4 = 41,206 + (-1,019)(9) = 32,035$$

$$y^5 = 41,206 + (-1,019)(10) = 31,016$$

Ringkasan untuk prediksi jumlah pelanggan tahun 2019 sampai dengan 2023 terdapat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Prediksi Jumlah Pelanggan Hingga Tahun 2023

Tahun	Jumlah Pelanggan (Orang)
2019	35,092
2020	34,073
2021	33,053
2022	32,035
2023	31,016

4.2.2 Prediksi Jumlah *Bandwidth*

Berdasarkan Tabel 3.3 dan 3.4 terlihat jumlah pelanggan yang bervariasi dan cenderung mengalami penurunan namun *bandwidth* mengalami peningkatan, melalui tabel 3.3 dan 3.4 tersebut maka akan dilakukan penghitungan dengan metode *least square* yang terdapat pada persamaan (3.7) yang akan di buat kedalam tabel 4.3 berikut :

Tabel 4.3 Perhitungan Least Square Bandwidth Hingga Tahun 2023

No	x	Y	x^2	Xy
1	40,871	984	1670,43	40217,06
2	37,862	3200	1433,53	121158,4
3	38,324	8000	1468,72	306592
4	37,951	8000	1440,27	303608
5	35,729	10400	1276,56	371581,6
Jumlah	190,737	30584	7289,51	1143157,064

Dengan hasil tabel tersebut maka x dan y pada persamaan (3.7) adalah :

$$a = \frac{(30584 \times 7289,51) - (190,737 \times 1143157,06)}{5 \times 7289,51 - (190,737)^2}$$

$$a = 73192$$

$$b = \frac{5 \times 1143157,06 - (190,737 \times 30584)}{5 \times 7289,51 - (190,737)^2}$$

$$b = -1758$$

Dengan hasil yang di dapat pada perhitungan tersebut, didapatkan persamaan regresi linier jumlah pelanggan :

$$y = 73192 + (-1758)x \tag{4.2}$$

Prediksi jumlah bandwidth menggunakan persamaan (4.2) dengan memasukkan nilai x adalah jumlah prediksi pelanggan pada tabel 4.2 untuk memprediksi jumlah *bandwidth* tahun 2019 sampai dengan 2023.

$$y^1 = 73192 + (-1758)(35,092) = 11.501$$

$$y^2 = 73192 + (-1758)(34,073) = 13.292$$

$$y^3 = 73192 + (-1758)(33,053) = 15.085$$

$$y^4 = 73192 + (-1758)(32,035) = 16.875$$

$$y^5 = 73192 + (-1758)(31,016) = 18.666$$

Ringkasan untuk prediksi jumlah pelanggan tahun 2019 sampai dengan 2023 terdapat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Prediksi Jumlah Bandwidth Hingga Tahun 2023

Tahun	Jumlah Bandwidth (Mbps)
2019	11.501
2020	13.292
2021	15.085
2022	16.875
2023	18.666

4.2.3 Analisa Hasil Prediksi Kebeutuhan *Bandwidth*

Apabila melihat hasil prediksi pada tabel di atas, maka kebutuhan *bandwidth* terbesar terdapat pada tahun 2019 dengan kebutuhan 18.666 Mbps. Untuk dapat memenuhi kebutuhan tersebut dibutuhkan :

a. DWDM

Sistem DWDM menggunakan perangkat STM-64 dengan kemampuan menyediakan *bandwidth* sebesar 10 Gbps dalam satu buah perangkat. Untuk dapat di implementasikan pada jaringan Universitas Mulawarman, maka dibutuhkan sebanyak 2 buah perangkat yang akan menghasilkan 20 Gbps dengan jumlah keseluruhan untuk jaringan Universitas Mulawarman sebanyak 4 buah modul serta 4 *core* optik yang dibagi 2 *core* untuk *transmitter* dan 2 *core* untuk *receiver*. Untuk jumlah *core* yang akan ditanam pada jaringan optik Universitas Mulawarman sebanyak 12 *core* sehingga terdapat sisa *core* sebanyak 8 *core* yang akan memenuhi kebutuhan kanal *bandwidth* di masa depan.

b. CWDM

Sistem DWDM menggunakan perangkat STM-4 dengan kemampuan menyediakan *bandwidth* sebesar 622 Mbps dalam satu buah perangkat. Untuk dapat di implementasikan pada jaringan Universitas Mulawarman, maka dibutuhkan sebanyak 32 buah perangkat yang akan menghasilkan 19.904 Mbps dengan jumlah keseluruhan untuk jaringan Universitas Mulawarman sebanyak 64 buah modul serta 64 *core* optik yang dibagi 32 *core* untuk *transmitter* dan 32 *core* untuk *receiver*. Untuk jumlah *core* yang akan ditanam pada jaringan optik Universitas Mulawarman sebanyak 36 *core*

sehingga terdapat sisa core sebanyak 4 *core* yang akan memenuhi kebutuhan kanal *bandwidth* di masa depan.

Berdasarkan penjabaran untuk masing-masing sistem maka dapat disimpulkan bahwa sistem DWDM dapat diimplementasikan dengan jumlah perangkat yang lebih sedikit dibandingkan dengan sistem CWDM sehingga sistem DWDM lebih efisien dibandingkan CWDM. Namun sistem CWDM juga masih mampu untuk memenuhi kebutuhan *bandwidth* Universitas Mulawarman dengan konsekuensi jumlah perangkat serta kemampuan memenuhi kebutuhan *bandwidth* yang relative lebih kecil.

4.3 Analisis Ekonomi

4.3.1 Capital Expenditure (Capex) Sistem DWDM

Tabel 4.5 Capex Sistem DWDM

NO	Pekerjaan	Satuan Material	Harga Material (Rp)	Kebutuhan Material	Total Harga (Rp)
1	Pengadaan dan pemasangan Kabel Duct Fiber Optik Single Mode 8 core G 652 D	meter	8.660/m	14.890 m	128.947.400
2	Pengadaan dan pemasangan alat sambung (cabang/ lurus) untuk Fiber Optik kapasitas 12 - 96 core	pcs	966.510 /pcs	2 pcs	1.933.020
3	Pengadaan dan pemasangan kabinet ODC (Outdoor) kap 144 core dengan space untuk spliter modular termasuk material adaptor SC, pigtail, pondasi berlapis keramik, lantai kerja keramik, patok pengaman (5 buah), berikut pelabelan	pcs	12.819.947 /pcs	9 pcs	115.379.523
4	Pengadaan dan Pemasangan Grounding 3 titik rod pada ODC dengan tahanan maks 1 ohm	pcs	2.480.880/p cs	9 pcs	22.327.920

NO	Pekerjaan	Satuan Material	Harga Material (Rp)	Kebutuhan Material	Total Harga (Rp)
5	Pengadaan dan pemasangan pipa HDPE 40/33 mm 1 pipa dengan kedalaman 1,5 meter	meter	12.045/m	15.000 m	180.675.000
6	Pengadaan perangkat DWDM	pcs	13.920.000/ pcs	2	27.840.000
TOTAL (Rp) : 477.102.843					

4.3.2 Operating Expenditure (Opex) Sistem DWDM

Tabel 4.6 Opex Sistem DWDM

NO	Pekerjaan	Satuan Material	Harga Material (Rp)	Kebutuhan Material	Total Harga (Rp)
1	Pengadaan dan pemasangan Kabel Duct Fiber Optik Single Mode 8 core G 652 D	meter	2.700/m	14.890 m	40.203.000
2	Pengadaan dan pemasangan alat sambung (cabang/ lurus) untuk Fiber Optik kapasitas 12 - 96 core	pcs	30.726 /pcs	2 pcs	61.452
3	Pengadaan dan pemasangan kabinet ODC (Outdoor) kap 144 core dengan space untuk spliter modular termasuk material adaptor SC, pigtail, pondasi berlapis keramik, lantai kerja keramik, patok pengaman (5 buah), berikut pelabelan	pcs	5.073.962/ pcs	9 pcs	45.665.658
4	Pengadaan dan Pemasangan Grounding 3 titik rod pada ODC dengan tahanan maks 1 ohm	pcs	425.430/pcs	9 pcs	3.828.870

NO	Pekerjaan	Satuan Material	Harga Material (Rp)	Kebutuhan Material	Total Harga (Rp)
5	Pengadaan dan pemasangan pipa HDPE 40/33 mm 1 pipa dengan kedalaman 1,5 meter	meter	1.407/m	14.890 m	20.950.230
6	Pekerjaan Galian, Pengurugan kembali dan perbaikan kembali, pengisian pasir, warning tape dan tanda rute kabel serta tempat sambung kedalaman 1,5 meter	meter	33.313/m	14.890 m	469.030.570
TOTAL (Rp) : 579.739.780					

4.3.3 Capital Expenditure (Capex) Sistem CWDM

Tabel 4.7 Capex Sistem CWDM

NO	Pekerjaan	Satuan Material	Harga Material (Rp)	Kebutuhan Material	Total Harga (Rp)
1	Pengadaan dan pemasangan Kabel Duct Fiber Optik Single Mode 36 core G 652 D	meter	17.640/m	14.890 m	262.659.600
2	Pengadaan dan pemasangan alat sambung (cabang/lurus) untuk Fiber Optik kapasitas 12 - 96 core	pcs	966.510 /pcs	2 pcs	1.933.020
3	Pengadaan dan pemasangan kabinet ODC (Outdoor) kap 144 core dengan space untuk splitter modular termasuk material adaptor SC, pigtail, pondasi berlapis keramik, lantai kerja keramik, patok pengaman (5 buah)	pcs	12.819.947 /pcs	9 pcs	115.379.523

NO	Pekerjaan	Satuan Material	Harga Material (Rp)	Kebutuhan Material	Total Harga (Rp)
4	Pengadaan dan Pemasangan Grounding 3 titik rod pada ODC dengan tahanan maks 1 ohm	pcs	2.480.880/p cs	9 pcs	22.327.920
5	Pengadaan dan pemasangan pipa HDPE 40/33 mm 1 pipa dengan kedalaman 1,5 meter	meter	12.045/m	15.000 m	180.675.000
6	Pengadaan perangkat CWDM	pcs	4.176.000/p cs	32 pcs	133.632.000
TOTAL (Rp) : 716.587.043					

4.3.4 Operating Expenditure (Opex) Sistem CWDM

Tabel 4.8 Opex Sistem CWDM

NO	Pekerjaan	Satuan Material	Harga Material (Rp)	Kebutuhan Material	Total Harga (Rp)
1	Pengadaan dan pemasangan Kabel Duct Fiber Optik Single Mode 36 core G 652 D	meter	2.700/m	14.890 m	40.203.000
2	Pengadaan dan pemasangan alat sambung (cabang/ lurus) untuk Fiber Optik kapasitas 12 - 96 core	pcs	30.726 /pcs	2 pcs	61.452
3	Pengadaan dan pemasangan kabinet ODC (Outdoor) kap 144 core dengan space untuk splitter modular termasuk material adaptor SC, pigtail, pondasi berlapis keramik, lantai kerja keramik, patok pengaman (5 buah), berikut pelabelan	pcs	5.073.962/p cs	9 pcs	45.665.658

NO	Pekerjaan	Satuan Material	Harga Material (Rp)	Kebutuhan Material	Total Harga (Rp)
4	Pengadaan dan Pemasangan Grounding 3 titik rod pada ODC dengan tahanan maks 1 ohm	pcs	425.430/pcs	9 pcs	3.828.870
5	Pengadaan dan pemasangan pipa HDPE 40/33 mm 1 pipa dengan kedalaman 1,5 meter	meter	1.407/m	14.890 m	20.950.230
6	Pekerjaan Galian, Pengurugan kembali dan perbaikan kembali, pengisian pasir, warning tape dan tanda rute kabel serta tempat sambung kedalaman 1,5 meter	meter	33.313/m	14.890 m	469.030.570
TOTAL (Rp) : 579.739.780					

4.3.5 Analisa Hasil *Capex* dan *Opex*

Apabila melihat hasil prediksi pada tabel di atas, maka kebutuhan biaya untuk dapat memenuhi kebutuhan *bandwidth*, maka :

a. DWDM

Sistem DWDM untuk dapat di implementasikan pada jaringan Universitas Mulawarman, maka dibutuhkan sebanyak 2 buah perangkat dimana membutuhkan biaya sebesar Rp 27.840.000,00.

b. CWDM

Sistem CWDM untuk dapat di implementasikan pada jaringan Universitas Mulawarman, maka dibutuhkan sebanyak 32 buah perangkat dimana membutuhkan biaya sebesar Rp 133.632.000,00.

Berdasarkan penjabaran untuk masing-masing sistem maka dapat disimpulkan bahwa sistem DWDM dapat diimplementasikan dengan biaya yang lebih sedikit dikarenakan jumlah perangkat yang lebih sedikit dibandingkan dengan sistem CWDM sehingga sistem DWDM lebih efisien dibandingkan CWDM.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini didapat beberapa kesimpulan yaitu :

1. Berdasarkan hasil perhitungan *Power Budget* nilai yang di dapatkan yaitu -11,495 dBm untuk sistem CWDM dan -5,217 dBm untuk sistem DWDM masih dapat mengirimkan sinyal informasi tanpa mempergunakan penguat optik dikarenakan masih di atas sensitivitas sensor optik yaitu -30 dBm (*Avalanche Photodiode*).
2. Kebutuhan *bandwidth* untuk jaringan optik Universitas Mulawarman di prediksi pada tahun 2019 adalah 11.501 Mbps hingga tahun 2023 adalah 18.666 Mbps.
3. Kapasitas maksimal *bandwidth* pada penelitian ini adalah 20.000 Mbps dengan 2 buah perangkat STM-64 untuk sistem DWDM dan 19.904 Mbps dengan 36 buah perangkat STM-4 untuk sistem CWDM untuk dapat memenuhi kebutuhan *bandwidth* Universitas Mulawarman.
4. Berdasarkan hasil analisis ekonomi menunjukkan bahwa implementasi terbaik dalam jaringan optik Universitas Mulawarman menggunakan sistem DWDM dimana biaya yang dikeluarkan lebih murah dan efisien, yaitu sebesar Rp 477.102.843,00 dibandingkan dengan sistem CWDM yang membutuhkan perangkat lebih banyak sehingga tidak efisien sehingga membutuhkan dana sebesar Rp 716.587.043,00.

5.2 Saran

1. Penelitian kedepan harapannya dapat meneliti mengenai penerapan untuk desain detail jaringan kampus Universitas Islam Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Ariyanti, “*Studi Perencanaan Jaringan Long Term Evolution Area Jabodetabek Studi Kasus PT. Telkomsel,*” *Bul. Pos dan Telekomun.*, vol. 12, no. 4, pp. 255–268, 2014.
- [2] A. P. J. I. Indonesia, “*Penetrasi dan Perilaku Pengguna Internet Indonesia,*” Indonesia, 2016.
- [3] Amonics, *Erbium-Doped Fiber Amplifier Education Kit Manual*. 2004.
- [4] S. Singh, A. Singh, and R. S. Kaler, “*Performance Evaluation of EDFA, RAMAN and SOA Optical Amplifier for WDM Systems,*” *Optik (Stuttg.)*, vol. 124, no. 2, pp. 95–101, 2013.
- [5] M. M. Ismail, M. A. Othman, Z. Zakaria, M. H. Misran, M. A. Meor Said, H. A. Sulaiman, M. N. Shah Zainudin, and M. A. Mutalib, “*EDFA-WDM Optical Network Design System,*” *Procedia Eng.*, vol. 53, pp. 294–302, 2013.
- [6] O. Mahran, “*Performance Study of Macro-Bending EDFA/Raman hybrid Optical Fiber Amplifiers,*” *Opt. Commun.*, vol. 353, pp. 158–164, 2015.
- [7] D. Malik, K. Pahwa, and A. Wason, “*Performance Optimization of SOA, EDFA, Raman and Hybrid Optical Amplifiers in WDM Network with Reduced Channel Spacing of 50 GHz,*” *Opt. - Int. J. Light Electron Opt.*, vol. 127, no. 23, pp. 11131–11137, 2016.
- [8] R. A. I. Asyari, “*Perancangan Jaringan Optik Untuk Distribusi 4G Long Term Evolution Di Kabupaten Sleman,*” Universitas Islam Indonesia, 2016..
- [9] M. Arif, “*Studi Implementasi Teknologi DWDM Untuk Mendukung Perencanaan Sistem Layanan Voice, Data dan Internet Pada Jaringan Telekomunikasi Studi Kasus Pada Telkom Riau Daratan,*” Univ. Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Pekanbaru, 2010.
- [10] Y. M. Leza, “*Analisis Perencanaan Sistem Transmisi Serat Optik Dwdm Pt. Telkom Indonesia , Tbk Optik Dwdm Pt. Telkom Indonesia , Tbk,*” Skripsi Sarj. Univ. Indones. Depok, 2011.
- [11] ITU-T, “*40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification,*” 2014.

- [12] ITU-T, “40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification Amendments 1,” 2016.
- [13] M. S. Prof.Dr.H.Masjaya, Empat Tahun Membangun Universitas Mulawarman, 1st ed. Samarinda: Bidang Perencanaan, Kerjasama dan Hubungan Masyarakat Universitas Mulawarman, 2018.
- [14] Nita Lufiana Heryana, “Analisis teknis ekonomi capex dan opex pada perancangan jaringan fiber to the home di kecamatan purwokerto timur skripsi,” *Univ. Islam Indones.*, 2018.



LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Rise Time Budget

Sistem CWDM :

c. Link Rektorat Unmul – FKIP Kampus I

$$\begin{aligned}t_f &= D \times \alpha_\lambda \times L \\ &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (1 \text{ nm}) \times (6 \text{ km}) \\ &= 21 \text{ ps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_r &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\ &= \sqrt{600^2 + 500^2 + 21^2} \\ &= 781,30 \text{ ps}\end{aligned}$$

d. Link Rektorat Unmul – Fak. Kedokteran

$$\begin{aligned}t_f &= D \times \alpha_\lambda \times L \\ &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (1 \text{ nm}) \times (0,5 \text{ km}) \\ &= 1,75 \text{ ps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_r &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\ &= \sqrt{600^2 + 500^2 + 1,75^2} \\ &= 781,026 \text{ ps}\end{aligned}$$

e. Link Fak. Kedokteran – Fak. Hukum

$$\begin{aligned}t_f &= D \times \alpha_\lambda \times L \\ &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (1 \text{ nm}) \times (0,7 \text{ km}) \\ &= 2,45 \text{ ps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_r &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\ &= \sqrt{600^2 + 500^2 + 2,45^2}\end{aligned}$$

$$= 781,03 \text{ ps}$$

f. Link FKIP Kampus II – Fak. Ilmu Budaya

$$\begin{aligned}t_f &= D \times \alpha_\lambda \times L \\ &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (1 \text{ nm}) \times (0,55 \text{ km}) \\ &= 1,925 \text{ ps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_r &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\ &= \sqrt{600^2 + 500^2 + 1,925^2} \\ &= 781,027 \text{ ps}\end{aligned}$$

g. Link Rektorat Unmul – Fak. Kedokteran

$$\begin{aligned}t_f &= D \times \alpha_\lambda \times L \\ &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (1 \text{ nm}) \times (0,5 \text{ km}) \\ &= 1,75 \text{ ps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_r &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\ &= \sqrt{600^2 + 500^2 + 1,75^2} \\ &= 781,026 \text{ ps}\end{aligned}$$

h. Link Fak. Kedokteran – Fak. Hukum

$$\begin{aligned}t_f &= D \times \alpha_\lambda \times L \\ &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (1 \text{ nm}) \times (0,7 \text{ km}) \\ &= 2,45 \text{ ps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_r &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\ &= \sqrt{600^2 + 500^2 + 2,45^2} \\ &= 781,03 \text{ ps}\end{aligned}$$

i. Link Fak. Kedokteran – Fak. Hukum

$$t_f = D \times \alpha_\lambda \times L$$

$$= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (1 \text{ nm}) \times (0,24 \text{ km})$$

$$= 0,84 \text{ ps}$$

$$t_r = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2}$$

$$= \sqrt{600^2 + 500^2 + 0,84^2}$$

$$= 781,025 \text{ ps}$$

Sistem DWDM :

c. Link Rektorat Unmul – FKIP Kampus I

$$t_f = D \times \alpha_\lambda \times L$$

$$= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (6 \text{ km})$$

$$= 2,1 \text{ ps}$$

$$t_r = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2}$$

$$= \sqrt{600^2 + 500^2 + 2,1^2}$$

$$= 69,493 \text{ ps}$$

d. Link Rektorat Unmul – Fak. Kedokteran

$$t_f = D \times \alpha_\lambda \times L$$

$$= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (0,5 \text{ km})$$

$$= 0,175 \text{ ps}$$

$$t_r = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2}$$

$$= \sqrt{600^2 + 500^2 + 0,175^2}$$

$$= 69,4624 \text{ ps}$$

e. Link Fak. Kedokteran – Fak. Hukum

$$t_f = D \times \alpha_\lambda \times L$$

$$= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (0,7 \text{ km})$$

$$= 0,245 \text{ ps}$$

$$\begin{aligned}
 t_r &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\
 &= \sqrt{600^2 + 500^2 + 0,245^2} \\
 &= 69,4626 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

f. Link FKIP Kampus II – Fak. Ilmu Budaya

$$\begin{aligned}
 t_f &= D \times \alpha_\lambda \times L \\
 &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (0,55 \text{ km}) \\
 &= 0,192 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_r &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\
 &= \sqrt{600^2 + 500^2 + 0,192^2} \\
 &= 69,4624 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

g. Link Rektorat Unmul – Fak. Kedokteran

$$\begin{aligned}
 t_f &= D \times \alpha_\lambda \times L \\
 &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (1 \text{ nm}) \times (0,5 \text{ km}) \\
 &= 0,175 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_r &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\
 &= \sqrt{600^2 + 500^2 + 1,75^2} \\
 &= 69,4624 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

h. Link Fak. Kedokteran – Fak. Hukum

$$\begin{aligned}
 t_f &= D \times \alpha_\lambda \times L \\
 &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (0,7 \text{ km}) \\
 &= 0,245 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_r &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\
 &= \sqrt{600^2 + 500^2 + 0,245^2} \\
 &= 69,4626 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

i. Link Fak. Kedokteran – Fak. Hukum

$$\begin{aligned}t_f &= D \times \alpha_\lambda \times L \\ &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (0,24 \text{ km}) \\ &= 0,084 \text{ ps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_r &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\ &= \sqrt{600^2 + 500^2 + 0,084^2} \\ &= 69,4622 \text{ ps}\end{aligned}$$

