

# PENGEMBANGAN SISTEM WEB UNTUK PERENCANAAN JARINGAN *BACKBONE* DWDM DENGAN VISUALISASI INTERAKTIF DAN ESTIMASI KEBUTUHAN PERANGKAT

Salsabila Agatha<sup>1)</sup>, Asri Wulandari<sup>2)</sup>, dan Angga Fauzi<sup>3)</sup>

<sup>1,2)</sup> Program Studi Broadband Multimedia, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta Universitas Indonesia, Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kukusan, Beji, Depok, Jawa Barat 16425

<sup>3)</sup> PT Eka Mas Republik (MyRepublic)

Green Office Park 6, Jl. BSD Green Office Park, Sampora, Cisauk, Tangerang Regency, Banten 15345  
e-mail: salsaaagatha7@gmail.com<sup>1)</sup>, asri.wulandari@elektro.pnj.ac.id<sup>2)</sup>, angga.fauzi@myrepublic.net.id<sup>3)</sup>

## ABSTRACT

*The demand for backbone networks capable of handling high capacity and reliability is increasing in line with the growth of digital services. Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) technology has emerged as a leading solution due to its ability to transmit multiple optical signals through a single fiber. However, the planning process for DWDM backbone networks is often conducted separately, involving independent calculations of network performance, route visualization, and device requirement estimation (BoM). This disintegration can lead to data inconsistency, longer planning time, and difficulties in decision-making. This study aims to develop a web-based system that integrates the entire DWDM network planning process, from technical calculations (power budget, rise time budget, link margin, total loss, and OSNR), interactive route visualization using digital maps, to optical device estimation. The system is developed using Python with the support of libraries such as Pandas, Flask, and Leaflet.js. A case study was conducted on the BSD–Serang route involving 13 nodes. The test results show that the system is capable of producing accurate and consistent calculations in accordance with technical standards, interactive and informative route visualization, and well-structured BoM estimation that can be downloaded in Excel format. Based on system testing, the functional suitability achieved a score of 100%, and the average usability score was 82.75 based on the System Usability Scale, classified in the Excellent category.*

**Keywords:** Bill of Material, DWDM, Network Visualization, Optical Network Planning, Optical Performance Analysis.

## ABSTRAK

*Kebutuhan akan jaringan backbone yang mampu menangani kapasitas besar dan andal menjadi semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan layanan digital. Teknologi DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) menjadi solusi utama karena kemampuannya dalam mengirimkan banyak sinyal optik melalui satu serat optik. Namun, proses perencanaan topologi jaringan backbone DWDM umumnya masih dilakukan secara terpisah, antara perhitungan kinerja jaringan, visualisasi rute, dan estimasi kebutuhan perangkat (BoM). Hal ini dapat menyebabkan ketidakkonsistenan data, memperlama proses perencanaan, serta menyulitkan proses pengambilan keputusan. Penelitian ini bertujuan untuk membangun sebuah sistem berbasis web yang mengintegrasikan seluruh proses perencanaan jaringan DWDM, mulai dari perhitungan teknis (power budget, rise time budget, link margin, total loss, dan OSNR), visualisasi jalur secara interaktif menggunakan peta digital, hingga estimasi kebutuhan perangkat optik. Sistem dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan dukungan pustaka seperti Pandas, Flask, dan Leaflet.js untuk visualisasi. Studi kasus dilakukan pada rute BSD–Serang dengan total 13 node. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan perhitungan yang akurat dan konsisten sesuai standar teknis, visualisasi jalur jaringan yang interaktif dan informatif, serta estimasi BoM yang sesuai dan dapat diunduh dalam format Excel. Berdasarkan pengujian website, menunjukkan aspek functional suitability memperoleh skor 100% dan pada aspek usability menggunakan metode SUS, sistem memperoleh skor rata-rata sebesar 82,75 dan dikategorikan “Excellent”.*

**Kata Kunci:** Analisis Kinerja Optik, Bill of Material, DWDM, Perencanaan Jaringan Optik, Visualisasi Jaringan.

## I. PENDAHULUAN

**K**EBUTUHAN akan jaringan *backbone* berkapasitas tinggi semakin meningkat seiring berkembangnya layanan digital seperti *video streaming*, *cloud computing*, dan *Internet of Things (IoT)* [1]. Dalam hal ini, teknologi DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) telah menjadi solusi utama karena kemampuannya untuk mentransmisikan data berkecepatan tinggi melalui satu kabel serat optik dengan menggunakan berbagai panjang gelombang

cahaya [2]. Teknologi ini memungkinkan peningkatan kapasitas jaringan secara signifikan tanpa perlu menambah jalur kabel fisik. Namun dalam praktiknya, proses perencanaan jaringan DWDM masih dilakukan secara terpisah antara perhitungan parameter teknis meliputi *power budget*, *rise time budget*, *link margin*, *total loss*, dan OSNR, visualisasi jalur jaringan, dan estimasi kebutuhan perangkat atau BoM (*Bill of Material*). Ketidak paduan ini dapat membuat proses perencanaan menjadi lebih lama dan menyulitkan dalam mengambil keputusan secara menyeluruh.

Oleh karena itu, diperlukan sistem berbasis web yang dapat mengintegrasikan seluruh tahapan perencanaan ke dalam satu *platform* terpadu. Sistem ini idealnya mampu melakukan perhitungan kinerja optik secara otomatis, menyajikan visualisasi jalur jaringan yang interaktif menggunakan peta digital, dan memberikan estimasi kebutuhan perangkat jaringan dalam bentuk daftar komponen lengkap.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem berbasis web yang mampu mengintegrasikan perhitungan parameter teknis DWDM, visualisasi jalur, dan estimasi kebutuhan perangkat dalam satu *platform*. Studi kasus yang digunakan dalam pengembangan sistem ini adalah rute jaringan optik *backbone* antara wilayah BSD dan Serang.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)

DWDM adalah teknologi multiplexing dalam jaringan optik yang memungkinkan banyak sinyal ditransmisikan secara bersamaan melalui satu serat optik, masing-masing pada panjang gelombang cahaya yang berbeda [2]. Teknologi ini mendukung peningkatan kapasitas jaringan tanpa perlu menambah jumlah serat fisik, menjadikannya solusi utama untuk sistem *backbone* berkecepatan tinggi [3][4]. DWDM biasanya beroperasi pada panjang gelombang 1550 nm karena nilai redamannya yang rendah dan kompatibilitasnya dengan *amplifier* optik [5]. Komponen utama dalam arsitektur DWDM meliputi *multiplexer/demultiplexer*, OADM (*Optical Add/Drop Multiplexer*), OA (*Optical Amplifier*), dan node DWDM [6].

### B. Parameter Kinerja Jaringan Optik

Dalam merancang sistem jaringan optik, beberapa parameter utama digunakan untuk memastikan kualitas layanan yang optimal, yaitu:

1. *Power budget*, yang menunjukkan daya optik yang tersedia untuk mengatasi redaman sepanjang jaringan. Nilainya dihitung dari selisih antara daya pancar ( $P_{tx}$ ) dan sensitivitas penerima ( $P_{rx}$ ) [7].
2. *Rise time budget*, yang mengevaluasi seberapa besar dispersi sinyal optik. Nilai *rise time* total tidak boleh melebihi batas toleransi transmisi [5].
3. *Link margin*, cadangan daya setelah memperhitungkan total *loss*. Margin ini menjamin sistem tetap bekerja meskipun terjadi penurunan kualitas sinyal.
4. Total *loss*, mencakup seluruh kehilangan daya sepanjang jalur, termasuk redaman kabel, konektor, dan *splice*.
5. OSNR (*Optical Signal to Noise Ratio*), menggambarkan kualitas sinyal optik terhadap noise. Semakin tinggi OSNR, semakin baik kualitas sinyal [7].

### C. Teknologi Pendukung Sistem

Teknologi pendukung sangat penting dalam pengembangan sistem perencanaan DWDM berbasis web:

1. Python, digunakan untuk pemrosesan data, komputasi teknis, dan integrasi dengan *library* seperti Pandas, GeoPy, dan OpenPyxl [8][9].
2. Flask, digunakan sebagai web *framework* yang menghubungkan *frontend* dan *backend* sistem [10].
3. Leaflet.js, bersama dengan OpenStreetMap dan Folium digunakan untuk menampilkan peta interaktif dan visualisasi rute jaringan optik [11].

### D. Pengujian Sistem

Pada pengujian sistem terbagi menjadi 3 modul yaitu perhitungan kinerja jaringan, visualisasi jaringan, serta estimasi BoM. Pengujian ini meliputi:

#### 1. Perhitungan Kinerja Jaringan

Pada pengujian perhitungan kinerja jaringan diuji menggunakan metode validasi teknis yaitu dengan membandingkan hasil *output* sistem dengan standar teknis yang berlaku. Metode pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil keluaran sistem terhadap nilai ambang batas parameter optik yang direkomendasikan oleh standar teknis dengan mengacu pada ITU-T [12][13]. Berikut ini merupakan tabel parameter standar teknis dari perhitungan kinerja jaringan.

TABEL I  
STANDAR TEKNIS

Standar Teknis	Nilai Standar
<i>Power budget</i>	$\geq 25$ dB
<i>Rise time budget</i>	$\leq 1,0$ ns
<i>Link margin</i>	3 hingga 5 dB
OSNR	$>15$ dB
Total loss	Jika <i>power budget</i> dan <i>link margin</i> $\geq 3$ dB

Berdasarkan tabel di atas, jika hasil yang didapatkan dari sistem berada dalam ambang batas standar yang telah ditentukan maka dapat dikatakan “sesuai”, namun jika tidak memenuhi batas ambang standar dapat dikatakan “tidak sesuai”.

#### 2. Visualisasi Jaringan

Pada pengujian visualisasi dilakukan dengan dua pendekatan yaitu fungsionalitas dan kegunaannya. Pengujian ini dilakukan dengan observasi langsung dan uji coba skenario termasuk:

- Kesesuaian jalur dengan rute aktual dari OpenRouteService
- Kemunculan *marker* dan jalur di berbagai resolusi layar
- Perbedaan warna jalur utama dan cadangan
- *Respons* interaktif.

#### 3. Estimasi BoM

Pengujian modul BoM fokus pada:

- Ketepatan estimasi komponen seperti panjang kabel, jumlah konektor, *repeater* berdasarkan *input* & hasil perhitungan teknis.
- Konsistensi data antara *input* – perhitungan – hasil akhir file Excel.
- Struktur file dilihat apakah file dapat diunduh dan dibuka, serta apakah format data sesuai dan siap digunakan.

Untuk mengukur ketepatan estimasi, dilakukan verifikasi manual berdasarkan rumus dasar perhitungan kebutuhan material optik:

$$\text{Total Panjang Kabel} = \text{Jarak rute} + (\text{Jumlah repeater} \times \text{Jarak repeater}) \quad (1)$$

Kemudian hasil tersebut dibandingkan dengan *output* sistem. Toleransi  $\pm 5\%$  tetap digunakan sebagai batas wajar.

### E. Pengujian Website

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan fungsionalitas, efisiensi kinerja, dan kenyamanan pengguna. Pengujian ini meliputi:

#### 1. Functional Suitability

Pengujian ini mengukur kesesuaian fitur terhadap kebutuhan pengguna melalui metode *alpha testing*, yang dilakukan secara internal oleh pengembang aplikasi untuk menguji apakah setiap fungsi berjalan sesuai dengan perancangan [14]. Hasil pengujian yang dihasilkan pada aspek *functional suitability* akan dihitung presentase kelayakannya menggunakan matriks *feature completeness* yaitu dengan Rumus 2.

$$P.Kelayakan = \frac{\text{Skor yang diobservasi}}{\text{Skor yang diharapkan}} \times 100\% \quad (2)$$

Setelah dilakukannya perhitungan, dilakukan analisa dan dikonversikan ke dalam interpretasi sesuai pada Tabel di bawah ini.

TABEL II  
PRESENTASI KELAYAKAN APLIKASI

Presentase	Interpretasi
0% - 20%	Sangat Tidak Layak
21% - 40%	Tidak Layak
41% - 60%	Cukup Layak
61% - 80%	Layak
81% - 100%	Sangat Layak

#### 2. Usability

Pengujian ini diukur dengan menyebarkan kuesioner kepada calon penggunaan sistem, menggunakan pendekatan SUS (*System Usability Scale*). Nilai hasil dari metode SUS digunakan untuk menilai tingkat *acceptability* sistem, di mana skor di atas 70 menandakan bahwa sistem berdasar dalam kategori *acceptable* [15]. Penilaian tingkat *usability* juga diklasifikasikan berdasarkan *grade* yang dapat dilihat melalui interpretasi skor SUS yang disajikan pada tabel di bawah ini.

TABEL III  
INTERPRETASI NILAI SUS

SUS Score	Grade	Adjective Ranking
>80,3	A	Excellent
68 - 80,3	B	Good
68	C	Okay
51 - 68	D	Poor
<51	F	Awful

### III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan rekayasa sistem yang bertujuan untuk membangun sebuah sistem berbasis web yang terintegrasi untuk perancangan jaringan *backbone* DWDM, yang mencakup proses perhitungan teknis, visualisasi jalur jaringan, dan estimasi kebutuhan perangkat. Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis, dimulai dari identifikasi kebutuhan hingga pengujian sistem.



Gambar 1. Flowchart Metode Penelitian

Berdasarkan Gambar 1. tahapan dari penelitian ini terdiri dari:

#### A. Identifikasi Masalah dan Tujuan

Tahapan pertama adalah dilakukan identifikasi masalah dan tujuan, di mana dilakukan studi awal terhadap permasalahan perencanaan jaringan optik yang selama ini masih dilakukan secara terpisah. Dari studi ini dirumuskan tujuan utama, yaitu merancang sistem yang mengintegrasikan seluruh proses perencanaan DWDM dalam satu *platform* berbasis web.

#### B. Analisis Kebutuhan Sistem

Selanjutnya dilakukan analisis kebutuhan sistem, yang mencakup identifikasi parameter teknis penting dalam jaringan DWDM seperti *power budget*, *rise time*, *link margin*, dan OSNR. Selain itu, juga dianalisis kebutuhan pengguna terhadap fitur sistem, termasuk *input* data dan *output* nya berupa hasil perhitungan kinerja jaringan, visualisasi jalur, serta estimasi kebutuhan perangkat.

### C. Perancangan Sistem

Tahap berikutnya adalah perancangan sistem, yang melibatkan pembuatan arsitektur aplikasi berbasis web. *Backend* dibangun menggunakan bahasa pemrograman python dan *framework* flask, sedangkan *frontend* memanfaatkan HTML, CSS, dan *library* leaflet.js untuk menampilkan peta interaktif. Sistem juga terintegrasi dengan API dari OpenRouteService untuk mendapatkan rute geografis aktual berdasarkan data koordinat yang dimasukkan oleh pengguna. Selain itu, dirancang pula modul perhitungan otomatis dan ekspor file estimasi BoM dalam format Excel.

### D. Implementasi Sistem

Setelah itu, sistem masuk ke tahap implementasi, yaitu proses pengembangan dan integrasi komponen-komponen utama sistem meliputi perhitungan parameter teknis kinerja jaringan, visualisasi jalur jaringan pada peta, serta penyusunan estimasi BoM.

### E. Pengujian Sistem dan Web

Setelah sistem dikembangkan, dilakukan pengujian sistem dan web. Pada pengujian sistem dilakukan berdasarkan 3 modul utama meliputi perhitungan kinerja optik, visualisasi jalur jaringan, dan estimasi kebutuhan perangkat. Pengujian perhitungan difokuskan pada validasi teknis yaitu dengan membandingkan hasil sistem dengan standar teknis yang telah ditentukan. Pada visualisasi diuji secara fungsional dan dari sisi kegunaannya melalui observasi langsung. Estimasi BoM diuji dari sisi ketepatan dan konsistensinya terhadap *input* dan hasil perhitungan teknis. Selain itu, dilakukan pula pengujian web untuk mengevaluasi dua aspek utama, yaitu *functional suitability* dan *usability*. Dengan pengujian sistem dan web secara menyeluruh ini, diharapkan sistem yang dikembangkan tidak hanya akurat secara teknis, namun juga andal, responsif, dan memberikan pengalaman pengguna yang baik.

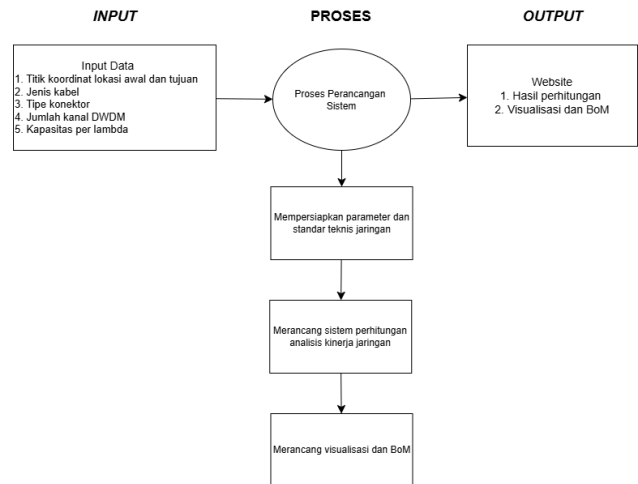
### F. Analisa Hasil Pengujian

Tahap terakhir, dilakukan analisa hasil pengujian untuk menilai kelayakan sistem dari sisi teknis dan pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan *output* perhitungan yang akurat dan sesuai dengan standar, memvisualisasikan jalur jaringan secara interaktif dan informatif, serta menyajikan estimasi kebutuhan perangkat.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Diagram Blok Sistem

Adapun diagram blok dari sistem dapat dilihat pada Gambar di samping ini.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Gambar 2 menunjukkan diagram blok sistem yang menggambarkan alur kerja sistem yang terbagi menjadi tiga bagian utama, yaitu *input*, *proses*, dan *output*. Pada tahap *input*, *user* diminta untuk menginput sejumlah parameter penting seperti koordinat lokasi awal dan tujuan, jenis kabel, tipe konektor, jumlah kanal DWDM, kapasitas per lambda, serta jarak antar lokasi. Seluruh data yang diinputkan ini kemudian diteruskan ke tahap *proses*. Pada tahap *proses*, mencakup menentukan nilai standar teknis yang digunakan dalam perhitungan, merancang sistem perhitungan analisis kinerja jaringan, merancang visualisasi dan BoM. Pada tahap *output*, seluruh hasil berupa hasil perhitungan performa jaringan, visualisasi jalur, dan rekomendasi BoM ditampilkan melalui *website*, yang dapat diakses oleh *user* secara interaktif.

### B. Use Case Diagram

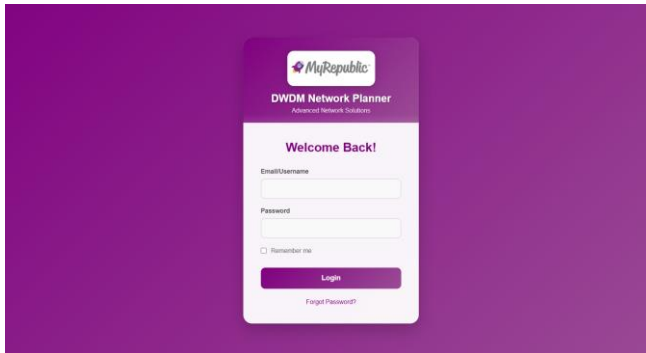
Berikut *use case* diagram untuk menggambarkan interaksi *user* dengan sistem *website*, sebagai berikut.



Gambar 3. Use case diagram

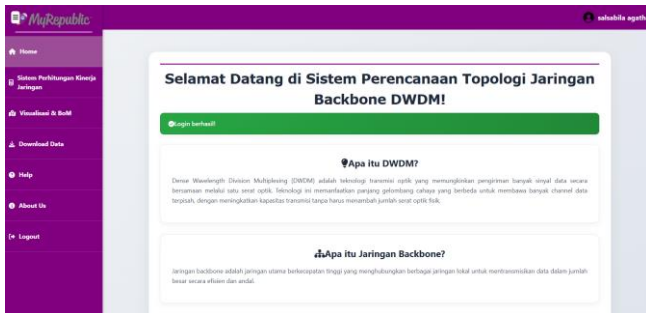
C. Tampilan Website

Berikut ini merupakan tampilan halaman *website* yaitu sebagai berikut:



Gambar 4. Halaman *login*

Gambar 4 merupakan tampilan halaman *login* yang digunakan untuk mengakses sistem dengan memasukkan akun yang telah dibuat oleh admin. Fitur ini memastikan keamanan akses dan hanya mengizinkan pengguna terdaftar untuk menggunakan sistem.



Gambar 5. Halaman *home*

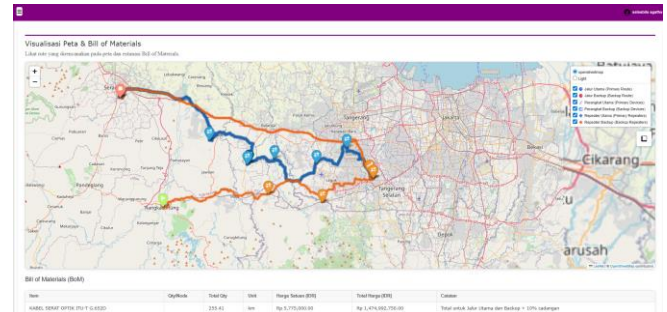
Gambar 5 merupakan tampilan halaman *home* yang menampilkan pengantar sistem, tujuan pengembangan aplikasi, serta informasi singkat mengenai fitur-fitur utama yang tersedia dalam *website*.



Gambar 6. Halaman sistem perhitungan kinerja jaringan

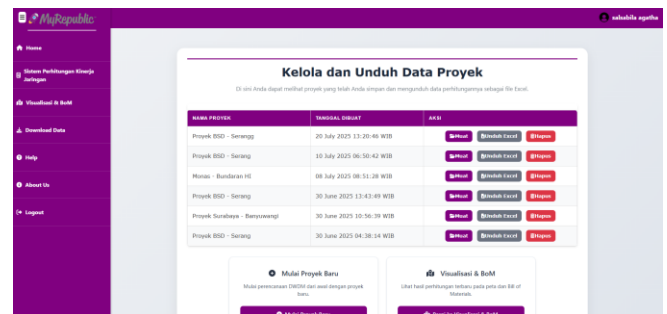
Gambar 6 merupakan tampilan halaman sistem perhitungan kinerja jaringan yang memungkinkan pengguna untuk melakukan *input* parameter teknis seperti koordinat lokasi, jenis kabel, tipe konektor, jumlah kanal DWDM, dan kapasitas per lambda. Sistem kemudian akan menghitung kinerja optik seperti *power budget*, *rise time budget*, *link margin*, *total loss*, dan *OSNR* secara otomatis.

Gambar 7 merupakan halaman visualisasi dan BoM, fitur ini menampilkan hasil visualisasi jaringan dalam bentuk peta interaktif menggunakan *leaflet.js* dan *OpenStreetMap*. Selain itu, sistem juga menampilkan estimasi kebutuhan perangkat berdasarkan hasil perhitungan.



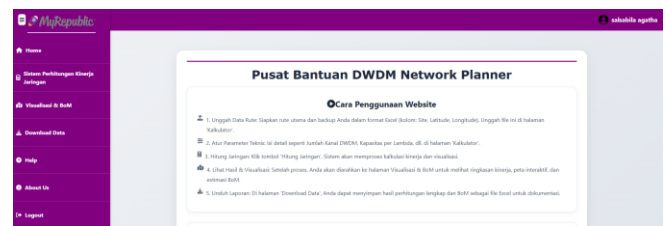
Gambar 7. Halaman visualisasi dan BoM

Gambar 8 merupakan halaman *download* data, menu ini yang menyediakan opsi untuk mengunduh hasil perencanaan seperti perhitungan teknis dan estimasi BoM dalam format excel yang telah terstruktur.



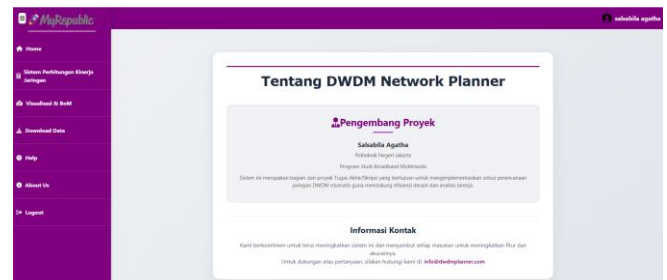
Gambar 8. Halaman *download* data

Gambar 9 merupakan halaman *help* yang berisi panduan penggunaan sistem.



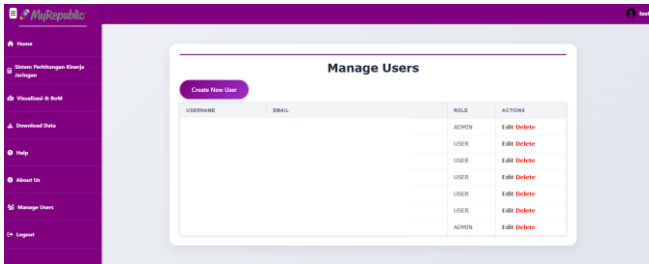
Gambar 9. Halaman *help*

Gambar 10 merupakan halaman *about us* yang menampilkan informasi mengenai tim pengembang.



Gambar 10. Halaman *about us*

Gambar 11 merupakan halaman *manage users* yang di mana hanya dapat diakses oleh admin. Fitur ini digunakan admin untuk menambahkan, mengedit, atau menghapus akun pengguna. Selain itu, admin juga dapat melihat atau menghapus seluruh proyek pengguna.



Gambar 11. Halaman *manage users*

#### D. Data Pengujian

Dalam perencanaan jaringan di wilayah Surabaya–Banyuwangi, dilakukan penetapan rute untuk jalur utama dan jalur cadangan. Penentuan ini bertujuan untuk memastikan kontinuitas layanan jaringan apabila terjadi gangguan pada jalur utama, sehingga sistem tetap dapat beroperasi melalui jalur cadangan. Berikut ini disajikan data wilayah yang dilalui oleh jalur utama dan jalur cadangan pada perencanaan jaringan di wilayah BSD-Serang.

##### a. Jalur Utama:

TABEL IV  
RUTE UTAMA PENGUJIAN

Site	Latitude	Longitude
BSD	-6.296286275439368	106.67154966837700
Kelapa Dua	-6.2351422	106.6185465
Curug	-6.266933	106.558787
Tigaraksa	-6.2574906002	106.4747272
Cisoka	-6.268752138859194	106.4205049585582
Cikande	-6.221484	106.344929
Serang	-6.1367483	106.1670568

##### b. Jalur Cadangan:

TABEL V  
RUTE CADANGAN PENGUJIAN

Site	Latitude	Longitude
Rangkasbitung	-6.3525200492495815	106.25220591255804
Tenjo	-6.327284971170056	106.46217119868315
Parung Panjang	-6.343930594052838	106.57031973583923
BSD	-6.296286275439368	106.67154966837700
Rangkasbitung	-6.3525200492495815	106.25220591255804

Berdasarkan data di atas, dilakukan serangkaian pengujian pada sisi sistem dan *website* untuk mengevaluasi fungsionalitas dan keandalannya, dengan rincian sebagai berikut.

#### E. Pengujian Sistem

##### 1. Pengujian Perhitungan Kinerja Optik

Pada pengujian perhitungan kinerja optik dilakukan menggunakan metode validasi teknis terhadap standar desain jaringan optik. Parameter yang diuji mencakup *power budget*, *rise time budget*, *link margin*, OSNR, dan *total loss*. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil sistem terhadap standar ambang batas teknis

yang direkomendasikan oleh literatur dan ITU-T. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan oleh sistem berbasis web didapatkan hasil sebagai berikut.

TABEL VI  
HASIL PENGUJIAN RUTE UTAMA

Parameter	Hasil Sistem	Standar Minimum	Evaluasi
<i>Power budget</i>	40 dB	$\geq 25$ dB	Memadai
<i>Rise time budget</i>	0,07 ns	$\leq 1,0$ ns	Memadai
<i>Link margin</i>	6,35 dB	3-5 dB	Memadai
<i>Total loss</i>	30,65 dB	-	Memadai
OSNR	40 dB	$>15$ dB	Memadai

Berdasarkan data hasil pengujian di atas, dapat disimpulkan bahwa sistem perencanaan jaringan DWDM pada wilayah BSD–Serang secara umum telah memenuhi sebagian besar parameter teknis yang ditetapkan dalam standar industri. Pada jalur utama, seluruh parameter teknis menunjukkan kinerja yang baik dan memenuhi standar. Nilai *power budget* tercatat sebesar 40 dB, jauh melampaui ambang batas minimum 25 dB, yang menunjukkan bahwa daya optik yang ditransmisikan mencukupi untuk menutupi seluruh redaman sepanjang lintasan, termasuk rugi-rugi akibat kabel, konektor, dan *splice*. *Link margin* sebesar 6,35 dB juga berada di atas batas minimal yang direkomendasikan 3–5 dB, menandakan adanya cadangan daya yang memadai untuk menjaga kualitas sinyal terhadap gangguan atau penurunan performa. Selain itu, *rise time budget* sebesar 0,07 ns menunjukkan bahwa dispersi sinyal masih dalam batas ideal sehingga tidak mengganggu kecepatan transmisi data. Nilai OSNR sebesar 40 dB mengindikasikan rasio sinyal terhadap *noise* sangat baik, sehingga kualitas transmisi dinilai sangat stabil. Dengan demikian, jalur utama layak diimplementasikan tanpa memerlukan penguat tambahan.

TABEL VII  
HASIL PENGUJIAN RUTE CADANGAN

Parameter	Hasil Sistem	Standar Minimum	Evaluasi
<i>Power budget</i>	40 dB	$\geq 25$ dB	Memadai
<i>Rise time budget</i>	0,07 ns	$\leq 1,0$ ns	Memadai
<i>Link margin</i>	-0,9 dB	3-5 dB	Tidak memadai
<i>Total loss</i>	37,9 dB	-	Memadai
OSNR	40 dB	$>15$ dB	Memadai

Sementara itu, hasil pengujian pada jalur cadangan menunjukkan bahwa meskipun sebagian besar parameter telah memenuhi standar, nilai *link margin* negatif sebesar -0,9 dB menandakan adanya kekurangan daya optik untuk mengimbangi total rugi-rugi sistem. Kondisi ini menunjukkan bahwa sinyal optik akan mengalami degradasi signifikan dan tidak akan mencapai titik penerima dengan kualitas yang memadai, yang dapat menyebabkan peningkatan *bit error rate* (BER), gangguan sinkronisasi, hingga potensi kehilangan sinyal (*signal loss*).

Sementara itu, nilai *power budget* tetap berada pada 40 dB, *rise time budget* sebesar 0,07 ns, dan OSNR sebesar 40 dB, yang seluruhnya memenuhi atau bahkan melampaui standar minimum ITU-T. Untuk mengatasi kekurangan *link margin*, diperlukan penambahan *repeater* atau *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA) pada jalur cadangan untuk memperkuat daya optik di tengah lintasan. Penempatan penguat pada titik tengah rute dapat meningkatkan daya sinyal sekitar 15–20 dB, sehingga *link margin* kembali ke nilai positif dan sistem dapat beroperasi dengan stabil.

Secara keseluruhan, sistem tidak hanya mampu menghasilkan perhitungan yang akurat sesuai standar teknis ITU-T, tetapi juga efektif dalam mengidentifikasi kebutuhan optimasi, seperti penambahan penguat pada jalur cadangan. Hal ini membuktikan bahwa sistem berfungsi tidak hanya sebagai alat bantu perhitungan, tetapi juga sebagai sarana analisis performa jaringan yang komprehensif.

## 2. Pengujian Visualisasi Jalur

Pengujian visualisasi dilakukan secara fungsional dan observasional. Sistem mampu menampilkan jalur utama dan cadangan secara interaktif pada peta digital dengan tampilan *marker* lokasi node dan *repeater* yang sesuai dengan *input* koordinat. Pengguna dapat berinteraksi dengan peta melalui zoom dan navigasi. Visualisasi ini diuji dari sisi kemudahan penggunaan serta keakuratan representasi spasial, dan hasilnya menunjukkan bahwa fungsi visualisasi berjalan baik dan sesuai kebutuhan perencanaan jaringan. Berikut ini merupakan hasil pengujian dari visualisasi jalur.



Gambar 12. Hasil Pengujian Visualisasi



Gambar 13. Hasil Pengujian Visualisasi Kontur Jalan

Visualisasi pada sistem mencakup dua jalur, yaitu jalur utama dan jalur cadangan, yang masing-masing ditampilkan dengan warna berbeda yaitu biru untuk utama dan oranye untuk cadangan. Selain jalur, sistem juga memvisualisasikan posisi perangkat DWDM dan *repeater* berdasarkan titik koordinat geografis. Jalur utama divisualisasikan mengikuti rute darat dari BSD

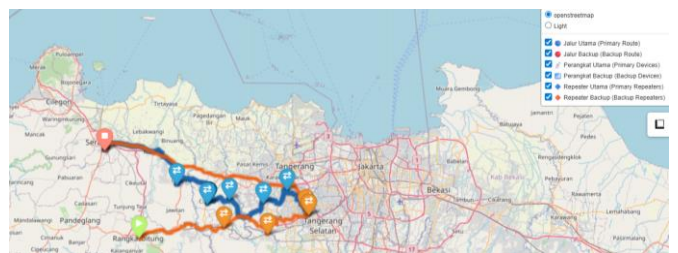
menuju Serang dengan penempatan perangkat dan *repeater* yang akurat sesuai panjang setiap span. Hasil visualisasi menunjukkan bahwa jalur utama tampil secara jelas, terstruktur, dan tidak terjadi tumpang tindih ikon, serta mudah dipahami oleh pengguna.

Sementara itu, visualisasi jalur cadangan juga berhasil divisualisasikan dengan rute alternatif yang berbeda dari jalur utama. Rute ini melewati titik-titik yang lebih selatan dan berhasil menunjukkan keberadaan perangkat dan *repeater* pada lokasi yang sesuai. Hal ini memperkuat aspek redundansi dalam perencanaan jaringan. Meskipun secara teknis jalur cadangan memiliki kekurangan dalam parameter *link margin* yang berada di bawah standar, visualisasi tetap berhasil menampilkan kebutuhan tambahan perangkat *repeater* yang diperlukan pada jalur tersebut.

Dengan demikian, visualisasi tidak hanya membantu dalam aspek fungsional tetapi juga memberikan pemahaman langsung terkait kondisi teknis jalur. Secara keseluruhan, sistem berhasil memenuhi pengujian visualisasi baik dari sisi fungsionalitas maupun kegunaan, menjadikan fitur ini sangat berguna dalam proses perencanaan dan evaluasi jaringan *backbone* DWDM.



Gambar 14. Hasil Pengujian Zoom in Visualisasi



Gambar 15. Hasil Pengujian Zoom Out Visualisasi

Pengujian visualisasi pada sistem perencanaan jaringan *backbone* DWDM menunjukkan bahwa fitur pemetaan interaktif berjalan dengan baik dan sesuai kebutuhan. Sistem mampu menampilkan jalur utama dan cadangan secara jelas di peta digital, lengkap dengan penanda *node* dan *repeater* sesuai koordinat *input*. Visualisasi warna yang berbeda untuk masing-masing jalur memudahkan identifikasi rute. Fitur *Zoom In* dan *Zoom Out* juga berfungsi dengan baik, memungkinkan pengguna melihat detail jaringan maupun gambaran keseluruhan tanpa mengurangi kualitas tampilan. Saat diperbesar, pengguna dapat mengevaluasi penempatan perangkat secara presisi, sedangkan saat diperkecil, struktur jaringan tetap terbaca dengan baik.

Visualisasi ini dinilai informatif, akurat secara spasial, dan sangat membantu dalam proses perencanaan serta pengambilan keputusan teknis jaringan DWDM.

Dengan demikian, hasil keseluruhan pada pengujian yang dilakukan pada halaman visualisasi jaringan *backbone* DWDM yaitu sebagai berikut.

TABEL VIII  
HASIL PENGUJIAN VISUALISASI

Aspek yang Diuji	Kriteria Penilaian
Jalur sesuai koordinat <i>input</i>	Jalur utama dan cadangan terbentuk akurat sesuai dengan <i>input</i>
Marker <i>node</i> dan <i>repeater</i> muncul	Semua titik jaringan terlihat
Responsif dan interaktif	Bisa <i>zoom/pan</i> , klik <i>marker</i> , <i>pop up</i> muncul
Perbedaan jalur utama dan cadangan	Warna dan label berbeda

### 3. Pengujian Estimasi BoM

Pengujian estimasi BoM dilakukan dengan mengevaluasi tiga aspek utama, yaitu ketepatan estimasi komponen, konsistensi data antar modul sistem, serta struktur file hasil Excel. Dari sisi ketepatan estimasi, sistem menghasilkan total panjang kabel optik sebesar 255,41 km, yang sudah mencakup jarak total dari jalur utama dan cadangan serta tambahan 10% untuk keperluan instalasi dan toleransi lapangan. Nilai ini diperoleh dengan menerapkan Rumus (1). Pada jalur utama, tidak memerlukan *repeater* karena hasil perhitungan yang di dapatkan masih dalam batas toleransi sinyal optik. Namun, pada jalur cadangan, menunjukkan kebutuhan 1 unit *repeater* untuk mempertahankan kualitas transmisi.

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan akurasi yang tinggi dalam memperkirakan kebutuhan material secara realistis dan praktis. Selain itu, jumlah konektor yang tercatat sebanyak 24 pcs dan *splice* 10 pcs juga telah sesuai dengan konfigurasi jumlah *span*, serta mempertimbangkan adanya tambahan cadangan konektor sebesar 20%, sebagaimana dianjurkan dalam praktik instalasi jaringan optik.

Dari aspek konsistensi data, sistem menunjukkan integrasi yang baik antara data input lokasi, hasil perhitungan teknis, dan *output* estimasi BoM. Komponen utama seperti *subrack*, *processor board*, *amplifier*, dan *mux/demux* dihitung secara tepat untuk 13 node, termasuk kebutuhan untuk 1 titik *repeater*.

Adapun pengujian terhadap struktur file Excel yang dihasilkan menunjukkan bahwa file dapat diunduh dan dibuka tanpa kendala. Format data tersaji dalam bentuk tabular yang rapi dan sistematis, memuat kolom nama komponen, jumlah unit, satuan, harga satuan, hingga estimasi total biaya. Ini membuktikan bahwa sistem mendukung kelengkapan dokumentasi teknis dan dapat diandalkan untuk proses implementasi di lapangan.

Berikut ini merupakan tabel dari hasil pengujian estimasi BoM dan Gambar dari yang dihasilkan pada perencanaan ini.

TABEL IX  
HASIL PENGUJIAN BOM

Aspek Pengujian	Indikator	Hasil Evaluasi
Ketepatan estimasi	Panjang kabel, konektor, dan <i>repeater</i>	Sesuai
	Jumlah konektor dan <i>splice</i>	Sesuai
Konsistensi data		Sesuai
Struktur dan format file <i>output</i>	File dapat diunduh dan dibuka	Sesuai

Gambar 16. Hasil Unduh BoM

### F. Pengujian Website

#### 1. Functional Suitability

Pengujian *Functional Suitability* bertujuan untuk mengukur sejauh mana fungsionalitas yang ada pada sistem web telah sesuai dengan kebutuhan pengguna. Pengujian dilakukan melalui metode *alpha testing* oleh pengembang, dengan memverifikasi bahwa setiap menu dan fitur dapat berjalan sebagaimana mestinya. Total terdapat 16 *test case* yang merepresentasikan alur penggunaan dari login, registrasi, pengisian data perhitungan, hingga hasil visualisasi dan pengunduhan data proyek.

TABEL X  
HASIL PENGUJIAN *FUNCTIONAL SUITABILITY*

Aktivitas Halaman	Test Case	Hasil yang diharapkan	Ketercapaian Ya Tidak
Login	1	Website memberikan akses apabila pengguna <i>login</i> menggunakan akun yang sudah dibuat oleh admin	✓
Home	2	Website menampilkan halaman <i>home</i>	✓
Sistem Perhitungan Kinerja Jaringan	3	Website menampilkan halaman perhitungan kinerja jaringan	✓
	4	Website dapat mengunggah file dengan format .csv atau .xlsx	✓
	5	Website dapat menghitung kinerja jaringan apabila menekan <i>button</i> "Hitung"	✓
	6	Website dapat menampilkan hasil perhitungan berupa halaman data <i>list</i>	✓
	7	Website dapat mengisi <i>text box</i> untuk menyimpan proyek serta menampilkan peta interaktif apabila menekan <i>button</i> "Lihat Visualisasi dan BoM"	✓
Visualisasi dan BoM	8	Website menampilkan hasil visualisasi dalam bentuk peta interaktif yang menggambarkan jalur serta komponen perangkat	✓
	9	Website menampilkan hasil BoM berupa data <i>list</i>	✓
	10	Website dapat menampilkan halaman perhitungan apabila menekan <i>text link</i> "Kembali ke perhitungan".	✓

Aktivitas Halaman	Test Case	Hasil yang diharapkan	Ketercapaian Ya Tidak
Download Data	11	Selain itu terdapat <i>text link</i> "Download data" apabila ditekan akan mengarahkan ke halaman tersebut <i>Website</i> menampilkan hasil proyek yang telah disimpan	✓
	12	<i>Website</i> dapat menampilkan <i>button</i> mulai proyek baru dan tampilan akan menampilkan halaman awal	✓
Manage Users	13	<i>Website</i> dapat menambahkan, mengedit, dan menghapus pengguna	✓
About Us	14	<i>Website</i> menampilkan informasi tentang pengembangan proyek	✓
Help	15	<i>Website</i> menampilkan halaman cara penggunaan <i>website</i>	✓
Logout	16	<i>Website</i> menampilkan halaman <i>login</i> saat pengguna menekan menu <i>logout</i>	✓

Berdasarkan hasil pengujian aspek *functional suitability*, seluruh fitur sistem berhasil diuji dan mencapai tingkat keberhasilan 100%. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh skenario uji yang telah dirancang berhasil dijalankan tanpa adanya kegagalan fungsi, baik pada fitur login, register, input data perhitungan jaringan DWDM, tampilan hasil visualisasi jalur, penyusunan estimasi BoM, maupun fitur pengelolaan proyek seperti simpan, lihat hasil, hingga *download* data. Penilaian kelayakan sistem ini dihitung menggunakan rumus (2).

Dengan skor yang diobservasi dan skor yang diharapkan bernilai sama, maka nilai kelayakan sistem adalah 100%, yang artinya sistem masuk dalam kategori "sangat layak". Hasil ini mengindikasikan bahwa *website* telah memenuhi seluruh kebutuhan fungsional sesuai dengan yang ditentukan dalam rancangan awal, sehingga layak digunakan untuk membantu proses perencanaan jaringan *backbone* DWDM secara efektif dan efisien.

## 2. Usability

Pengujian aspek *usability* dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana sistem perencanaan topologi jaringan *backbone* DWDM dapat digunakan secara efektif, efisien, dan memberikan kepuasan kepada pengguna. Evaluasi dilakukan menggunakan metode SUS (*System Usability Scale*) yang terdiri dari 10 pertanyaan penilaian. Setiap pernyataan dinilai menggunakan skala *likert* 5 poin yaitu SS (Sangat Setuju), S (Setuju), CS (Cukup Setuju), TS (Tidak Setuju), dan STS (Sangat Tidak Setuju).

TABEL XI  
PERTANYAAN PENGUJIAN *USABILITY*

No	Pertanyaan
1.	Saya berpikir akan sering menggunakan <i>website</i> ini
2.	Saya merasa bahwa <i>website</i> ini cukup kompleks atau rumit untuk digunakan.
3.	Saya menilai bahwa <i>website</i> ini mudah untuk digunakan.

No	Pertanyaan
4.	Saya memerlukan bantuan dari orang lain atau dukungan teknis untuk dapat menggunakan <i>website</i> ini.
5.	Saya menilai bahwa fitur-fitur yang tersedia pada <i>website</i> ini berfungsi sebagaimana mestinya.
6.	Saya merasa ada banyak hal yang tidak konsisten (tidak serasi) pada <i>website</i> ini.
7.	Saya merasa mayoritas penggunaan akan belajar cara menggunakan <i>website</i> dengan cepat.
8.	Saya menilai bahwa <i>website</i> ini kurang praktis untuk digunakan.
9.	Saya merasa sangat percaya diri saat menggunakan <i>website</i> ini.
10.	Saya merasa perlu mempelajari banyak hal terlebih dahulu sebelum dapat menggunakan <i>website</i> ini dengan baik

TABEL XII  
HASIL PENGUJIAN *USABILITY*

Responden	Pertanyaan										Hasil
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	72,5
2	3	3	4	4	4	3	4	3	3	3	85
3	2	4	3	3	4	3	3	3	3	4	80
4	3	4	4	3	4	3	3	3	3	3	82,5
5	3	3	3	4	4	3	3	4	3	4	85
6	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	82,5
7	3	4	3	3	4	3	4	3	3	4	85
8	3	4	3	3	4	3	4	3	3	4	85
9	4	3	4	4	3	3	4	3	3	30	85
10	4	3	4	3	4	3	3	4	3	3	85
<b>Jumlah SUS</b>											<b>827,5</b>
<b>Nilai rata-rata SUS (Jumlah SUS/Jumlah Responden)</b>											<b>82,75</b>

Berdasarkan hasil evaluasi menggunakan metode SUS terhadap 10 responden diperoleh nilai rata-rata sebesar 82,75. Nilai ini berada pada kategori "*Excellent*" dan masuk dalam Grade A dengan merujuk pada Tabel 3, yang berarti sistem telah berhasil memberikan pengalaman pengguna yang sangat baik. Seluruh responden mampu menggunakan fitur-fitur utama seperti input parameter, visualisasi jalur, dan tampilan BoM tanpa mengalami kesulitan yang signifikan.

Hal ini menunjukkan bahwa antarmuka sistem intuitif dan alur penggunaannya mudah dipahami, bahkan bagi pengguna yang belum familiar. Namun, pengujian ini memiliki keterbatasan karena hanya melibatkan 10 responden. Jumlah tersebut menyesuaikan dengan kondisi di lapangan, di mana hanya terdapat sejumlah kecil personel pada divisi yang relevan di industri tempat studi kasus dilakukan.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian menyeluruh terhadap sistem perencanaan jaringan *backbone* DWDM, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan telah memenuhi seluruh aspek kelayakan, baik dari sisi teknis maupun fungsionalitas *website*. Pengujian kinerja optik menunjukkan bahwa seluruh parameter utama seperti *power budget*, *rise time budget*, dan OSNR berada dalam batas aman sesuai standar yang telah ditentukan, sementara *link margin* yang tidak memadai pada salah satu jalur berhasil diidentifikasi dan dianalisis sehingga dapat diberikan rekomendasi penambahan *repeater* sebagai solusi.

Visualisasi rute *backbone* juga berhasil ditampilkan secara interaktif melalui peta digital, menunjukkan jalur utama dan cadangan secara jelas, serta memudahkan

pemantauan titik perangkat jaringan. Estimasi kebutuhan perangkat yang dihasilkan juga akurat, konsisten dengan *input* dan hasil perhitungan, serta dapat diunduh dalam format Excel dengan struktur data yang rapi.

Selain itu, aspek *functional suitability* mendapatkan hasil kelayakan sebesar 100%, menunjukkan seluruh fitur berjalan sesuai perancangan. *Usability* sistem memperoleh nilai SUS rata-rata 82,75, dikategorikan “*Excellent*”, mencerminkan sistem mudah digunakan dan memberikan kepuasan tinggi bagi pengguna. Dengan demikian, sistem dinyatakan berhasil dan layak untuk diimplementasikan sebagai alat bantu dalam proses perencanaan jaringan *backbone* DWDM secara otomatis, efisien, dan terintegrasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. A. Rojabi, A. Fauzi, and D. I. H. Putri, “Evaluasi Kinerja CWDM 8 Channel dengan Variasi Panjang Gelombang : Fokus Power Link Budget , SNR dan BER Performance Evaluation of 8 Channel CWDM Fiber Optic Network with Variation of Wavelength : Focus on Power Link Budget , SNR and BER,” *TELEKONTRAN J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 12, no. 2, 2024.
- [2] A. R. Dwiputra, D. A. Maulana, Z. Nurzamilah, A. Pambudi, L. Nurpualela, and S. Andromeda, “Peran Fiber Optik Dalam Revolusi Teknologi Jaringan Telekomunikasi,” vol. 9, no. 1, 2025.
- [3] I. U. V. Simanjuntak, S. Larasati, Y. Rahmawati S, and D. A. Santika, “Modernization of Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) Route Surabaya-Bangil To Increase Optical Network Capacity,” *Elkha J. Tek. Elektro*, vol. 14, no. 2, 2022.
- [4] A. N. Siahaan and S. Situmorang, “Desain Jaringan Backbone Optik Pada Provinsi Kalimantan Barat Menggunakan Teknologi DWDM OTN,” *J. Sains dan Teknol. ISTP*, vol. 22, no. 02, 2025.
- [5] F. Khair, Amiludin;, A. Pratama, and F. N. Gustiyana, “Perancangan Sistem Optik DWDM 8 Kanal dengan Penguat EDFA,” *J. Telecommun. Electron. Control Eng.*, vol. 3, no. 1, 2021, doi: 10.20895/jtece.v3i1.228.
- [6] E. I. Essa, M. A. Asker, and F. T. Sedeeq, “Evaluating OADM network simulation and an overview based metropolitan application,” *J. Intell. Syst.*, vol. 31, 2022.
- [7] G. Krisna Andika Putra, G. Sukadarmika, and N. Indra ER, “Proyeksi Traffic Jaringan Gigabit Passive Optical Network Pada Cluster Sumbersari Jembrana,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 22, no. 1, p. ;, 2023, doi: 10.24843/mite.2023.v22i01.p19.
- [8] A. P. Candra, “Analisis Data Menggunakan Python : Memperkenalkan Pandas dan NumPy,” vol. 3, no. 1, 2025.
- [9] G. Contributors, *GeoPy Documentation*. 2023. [Online]. Available: <https://geopy.readthedocs.io/>
- [10] D. J. Evan and P. O. N. Saian, “Implementasi Python Framework Flask Pada Modul Transfer Out Toko Di PT XYZ,” *JUPI (Jurnal Ilm. Penelit. dan Pembelajaran Inform.*, vol. 8, no. 4, 2023.
- [11] B. Hartanto, Y. Yuniarthe, T. M. Fawa’ati, and A. Ikhwan, “Pemanfaatan Leaflet Js Dalam Implementasi Sistem Informasi Geografis (SIG) Untuk Optimalisasi Pengelolaan Objek Pajak Bumi dan Bangunan di Dispenda Lampung Tengah,” *J. Alih Teknol. Komput.*, vol. 5, no. 1, 2024, doi: 10.57084/altek.v5i1.1581.
- [12] ITUPublications, “Recommendation ITU-T G652: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable,” 2024, [Online]. Available: <https://handle.itu.int/>
- [13] I. T. Union and S. Sector, “Supplement ITU-T G Suppl. 39: Optical system design and engineering considerations,” 2025.
- [14] Damelia, “Pemanfaatan Big Data Untuk Menjaga Pengembangan Coverage Jaringan 5G Berbasis Web,” 2022.
- [15] J. Estdale and E. Georgiadou, “Applying the ISO/IEC 25010 Quality Models to Software Product,” in *Communications in Computer and Information Science*, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-97925-0\_42.