

Desain Jaringan Backbone Kabel Optik pada Provinsi Kepulauan Bangka Belitung Menggunakan Teknologi DWDM-OTN

Author:

Azarya N.J. Siahaan¹
Saut M Situmorang²

Afiliation:

Universitas HKBP
Nomensen Pematang
Siantar¹
Institut Sains dan
Teknologi T.D.
Pardede²

Corresponding email

skatemelodicpunker@gmail.com¹
mathedyusmail@gmail.com²

Histori Naskah:

Submit: 2026-01-28
Accepted: 2026-05-05
Published: 2026-05-08



This is an Creative Commons
License This work is licensed
under a Creative Commons
Attribution-NonCommercial 4.0
International License

Abstrak:

Proyek Palapa Ring sudah membuat beberapa ring besar di Indonesia, tetapi 11 ring yang menghubungkan Sulawesi dan NTT masih belum selesai. Terkait dengan masalah tersebut, jaringan backbone optik dari Makassar – Maumere sebagai bagian dari 11 bagian ring tersebut dirancang menggunakan teknologi perangkat *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM). Metode yang digunakan dalam penulisan jurnal ilmiah ini adalah dengan cara mengumpulkan data awal tentang peta geografi Provinsi Kepulauan Bangka – Belitung (BABEL) yang ada dipulau Sumatera. ntuk mengumpulkan data informasi geografis dan karakteristik wilayah Provinsi Kepulauan Bangka – Belitung terutama jumlah kota dan kabupaten yang ada di provinsi tersebut. Penulis menggunakan *Software Google Map* dan bantuan data dari *Google Wikipedia*. Kemudian membuat segmen perkabupaten untuk memudahkan perhitungan jaringan menggunakan melakukan perhitungan nilai *Optical Link Power Budget* (OSNR), *Optical Signal Noise Ratio* (OSNR) dan *Optical Rise Time Budget* (ORTB). Etelah itu melukan desain dengan megggunakan *Software OTN Planner*. Dari hasil desain dan simulasi jaringan backbone, didapatkan bahwa nilai dari *Optical Link Power Budget* (OLPB) < 50 dBm dimana nilai tersebut adalah nilai ideal didalam penggelaran jaringan *backbone* DWDM OTN, serta kisaran dari *Optical Signal Noise Ratio* (OSNR) berkisar antara 20 dBm < OSNR < 40 dBm, yang merupakan nilai ideal dari OSNR, serta memiliki nilai *Optical Rise Time Budget* (ORTB) < 60 ps, dan juga memiliki sistem *segment* margin > 7 dB. Hasil simulasi dan analisa serta perhitungan nilai OLPB dan OSNR menunjukkan proyek pembangunan infrastruktur DWDM OTN di provinsi Kepulauan Bangka – Belitung sangat layak untuk digelar sebagai proyek yang berkelanjutan dan berkesinambungan.

Kata kunci: Backbone; DWDM-OTN; Jaringan; Kabel; Optik

Pendahuluan

Jaringan backbone berfungsi sebagai infrastruktur inti yang menghubungkan berbagai jaringan distribusi dan akses dengan kapasitas besar. Stallings (stallings, 2014) menjelaskan bahwa keandalan jaringan backbone sangat menentukan kualitas layanan komunikasi data secara keseluruhan, khususnya pada jaringan berskala nasional.

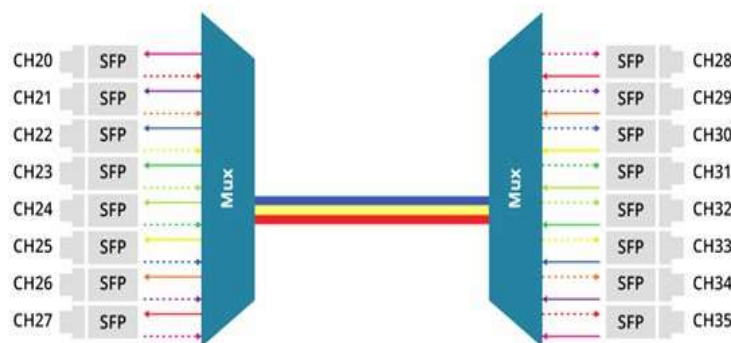
Perkembangan jaringan *backbone* kabel optik juga direncanakan dibeberapa area seperti perancangan jaringan *backbone Long Term Evolution* (LTE) 4G didaerah Sleman Yogyakarta (Izza, 2017). Selain itu perancangan jaringan *backbone* untuk wilayah provinsi sumatera utara sendiri juga sedang direncanakan (Yudiansyah, 2018). Pada penulisan prosiding ilmiah ini, untuk area yang dipilih adalah Provinsi Kepulauan Bangka – Belitung (BABEL), dimana Provinsi Kepulauan Bangka – Belitung (BABEL) saat ini sudah menjelma menjadi pusat bisnis, industri, perdagangan, barang, dan jasa serta berbatasan langsung dengan negara – negara ASEAN lainnya seperti Singapura, dan Malaysia. Sehingga kedepannya akan

diproyeksikan akan terus mengalami kemajuan dan perkembangan pesat (Fra, 2019). Mukherjee (Mukherjee, 2006) menyatakan bahwa jaringan berbasis DWDM merupakan solusi utama dalam pembangunan backbone optik modern karena mampu menyediakan kapasitas besar, fleksibilitas routing, serta efisiensi penggunaan bandwidth dalam jaringan skala luas

Studi Literatur

Dari penelitian sebelumnya dan buku tentang jaringan backbone kabel optik, proyek palapa ring sudah dibangun di Indonesia dengan tujuan jaringan ini mampu menghubungkan seluruh daerah di Indonesia. Dalam penelitian desain jaringan backbone kabel optik pada provinsi kepulauan Bangka Belitung menggunakan teknologi DWDM-OTN termasuk salah satu proyek palapa ring yang dikembangkan. Metodologi dari penelitian sebelumnya sangat sesuai digunakan pada penelitian ini, namun ada perbedaan pada letak geografis yang sangat berbeda dimana letak kepulauan Bangka Belitung yang berbeda dengan daerah lainnya sehingga perhitungan efisiensi serat optik dan sambungannya yang banyak disebabkan pola geografis di kepulauan Bangka Belitung. Terdapat 2 jenis perangkat utama yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal Cahaya (*Laser*) yang merambat melalui kabel serat optik yaitu perangkat *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) dan *Optical Transport Network* (OTN) kedua perangkat tersebut saling berkaitan satu dengan yang lainnya didalam menjalankan operasional system jaringan backbone kabel optik. Teknologi ini dapat meningkatkan kapasitas transmisi hingga ratusan kanal dalam satu link serat optik, dimana fungsi dari DWDM lebih kepada menggabungkan dan memecah (*Multiplexing* dan *De-Multiplexing*) dari banyak sinyal frekuensi pada perangkat pengirim (Tx) yang digunakan pada system transmisi kabel optik menjadi satu kesatuan didalam kanal transmisi dan kemudian memecah kembali kedalam banyak saluran frekuensi pada perangkat penerima (Rx) untuk kemudian diturunkan kedalam perangkat OTN, dimana perangkat OTN berfungsi sebagai *cross connection* pada sisi *slot* dan *port* yang terkoneksi langsung kedalam perangkat *middle segment* dan *last segment* yang langsung terhubung keperangkat operator dan customer disisi *last mile*.

Kunci keunggulan dari DWDM sendiri adalah kecepatan dan transfer protokol tidak relevan dimana DWDM sendiri menggunakan *IP Protocol*, *Asynchronous Transfer Module* (ATM), *Synchronous Optical Network* (SONET), *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH) dan protokol *Ethernet* untuk mengirimkan data, processing data trafik antara 100 Mbps – 2,5 Gbps, dengan cara seperti ini DWDM dapat mengirimkan berbagai jenis trafik data dengan kecepatan berbeda didalam kanal laser. Dari segi QoS DWDM sendiri memberikan keuntungan ergonomis.



Gambar 1. Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

DWDM *Terminal Multiplexer* berfungsi untuk menggabungkan sinyal-sinyal transmit yang mempunyai panjang gelombang berbeda-beda menjadi satu, untuk kemudian diteruskan ke satu kabel optic. DWDM *Terminal Multiplexer* sendiri terdiri dari banyak *transponder* pengubah panjang gelombang bagi setiap sinyal data yang ingin keluar masuk perangkat DWDM. Setiap panjang gelombang yang akan dirubah menerima sinyal data optik dari sisi *client layer* seperti SDH maupun berbagai macam perangkat tipe transmisi data lainnya, yang kemudian melakukan perubahan sinyal transmisi tersebut menjadi sinyal elektrik untuk selanjutnya ditransmisikan ulang pada panjang gelombang 1550 nm band laser.

Saat ini DWDM *Terminal Multiplexer* mampu menggabungkan sampai 128 jenis panjang gelombang yang berbeda antara satu sama lain dan menjadikannya satu kesatuan panjang gelombang untuk selanjutnya dikirimkan menuju DWDM *Terminal De-multiplexer*. *Terminal multiplexer* sebenarnya mengandung satu panjang gelombang yang berfungsi untuk mengkonversi *transponder* untuk setiap sinyal panjang gelombang itu akan membawa. Panjang gelombang mengkonversi *transponder* menerima masukan sinyal optik (yaitu, dari klien-layer atau sinyal lain), mengubah sinyal bahwa ke dalam domain listrik dan kemudian memancarkan kembali sinyal menggunakan 1550 nm laser yang *Band*.

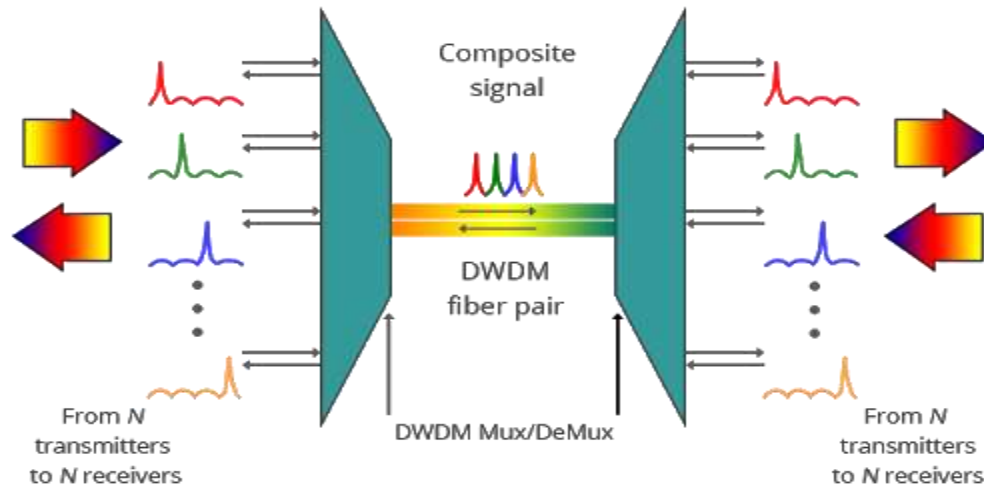
DWDM *De-Multiplexer* berfungsi untuk memisahkan kembali sinyal-sinyal transmit yang mempunyai panjang gelombang berbeda-beda yang sebelumnya ditransmisikan dalam satu serat optik, untuk kemudian diteruskan kembali ke masing-masing penerima. Untuk keperluan *de-multiplexing* ini beberapa teknologi digunakan, termasuk filter-filter dielektrik *thin-film* dan beberapa tipe *optical grating*. Beberapa *de-multiplex* dibuat dari *completely passive devices* artinya tidak memerlukan catuan listrik. *Multiplex optical* pasif bekerja sebagaimana prisma dengan presisi yang sangat tinggi untuk menggabungkan beberapa sinyal individual.

De-Multiplex ada yang mempunyai kemampuan untuk *transmit* dan *receive* pada satu *single fiber*, yang dikenal dengan *be-directional transmission*. *Terminal de-multiplexer* merubah sinyal multi-panjang gelombang kembali menjadi sinyal individual dan mengirim output pada serat terpisah untuk sistem klien-lapisan untuk mendeteksi sinyal yang masuk. Awalnya, *de-multiplexing* ini dilakukan sepenuhnya secara pasif, kecuali untuk beberapa telemetri karena kebanyakan sistem SONET dapat menerima sinyal 1550-nm. Namun, dalam rangka untuk memungkinkan transmisi ke sistem *client-lapisan* jarak jauh (dan untuk memungkinkan sinyal domain penentuan integritas digital) sinyal *de-multiplexing* seperti biasanya dikirim ke *transponder* keluaran sebelum yang disampaikan kepada sistem klien-lapisan mereka. Gambar 2 dibawah ini menunjukkan proses *De-Multiplexer*.

Seringkali, fungsi output *transponder* telah diintegrasikan ke dalam input *transponder* sehingga sebagian besar sistem komersial memiliki *transponder* yang mendukung antarmuka *bi-directional* di kedua 1550-nm (yaitu internal) sisi dan eksternal (yaitu klien menghadap) sisi.

Selain aspek kapasitas, jaringan WDM juga memerlukan mekanisme manajemen gangguan (fault management) yang baik untuk menjamin keandalan layanan. Zhang dan Mukherjee (2004) menegaskan bahwa sistem manajemen fault sangat penting dalam jaringan WDM karena kompleksitas topologi dan banyaknya komponen optik yang terlibat Zhang dan Mukherjee ,2004)

Media transmisi serat optik memiliki keunggulan utama berupa redaman rendah, bandwidth sangat besar, serta ketahanan terhadap interferensi elektromagnetik. Menurut Senior dan Jamro (2009), karakteristik inilah yang menjadikan serat optik sangat cocok digunakan sebagai media utama dalam pembangunan jaringan backbone modern berkapasitas tinggi.



Gambar 2. DWDM Terminal De-Multiplexer

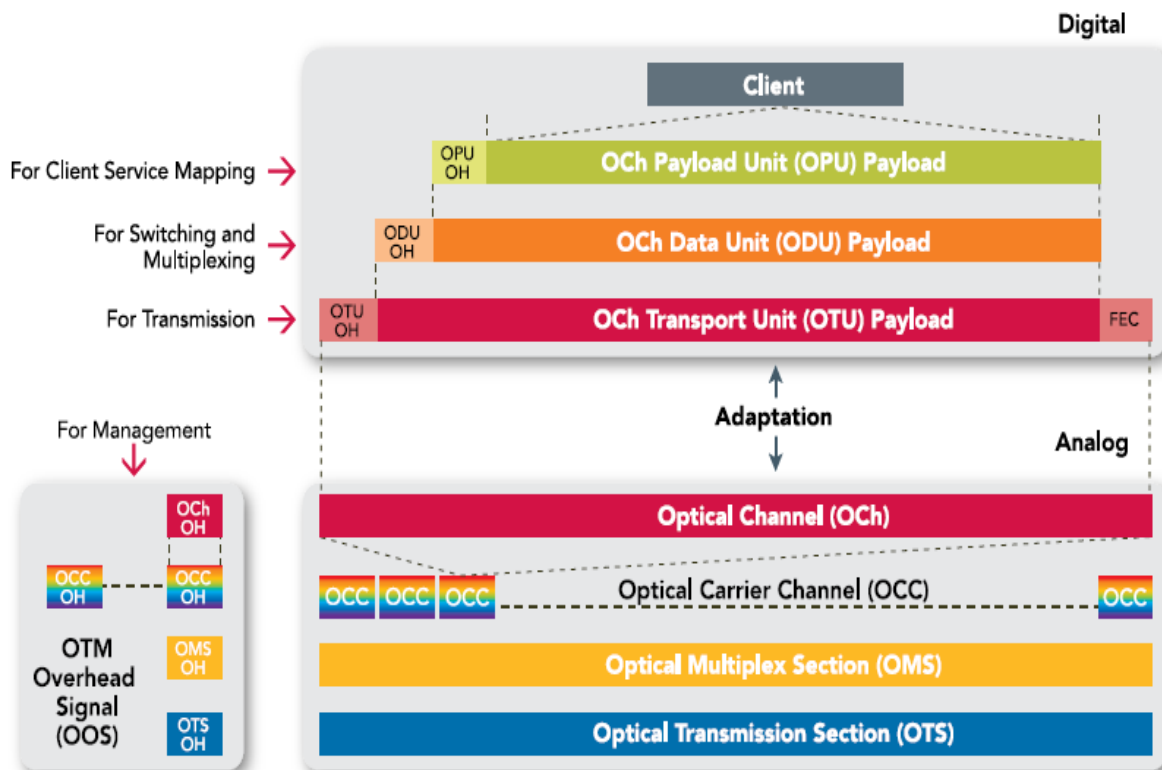
OTN merupakan standar jaringan transport optik yang menyediakan mekanisme framing, multiplexing, manajemen, dan proteksi jaringan (Ciena Corporation, 2015). OTN mendukung monitoring performansi jaringan secara end-to-end, sehingga memudahkan pengelolaan jaringan backbone berskala besar (Kartalopoulos, 2013). Sistem teknologi transport untuk berbagai tipe jenis layanan (*Multi Service*) trafik jaringan telekomunikasi khususnya yang menggunakan kabel optik. OTN sendiri ditetapkan sesuai dengan rekomendasi standard ITU-T G.709 untuk sistem *interface* transmisi untuk segment *high bandwidth* optik disisi penerima (*Client*). OTN membuat frame untuk sistem panjang gelombang yang dimultipleks, menyediakan sistem transport yang kuat serta dapat dimanage dengan baik dengan skala *bandwidth* melebihi 100 Gbps. Secara struktur, OTN menggunakan sistem digital hirarki multipleksi dan sistem lapisan instrumentasi yang komprehensif untuk mengirimkan *mapping*, *muxing*, dan *switching* (perpindahan layanan trafik) yang secara sederhana dapat diproses secara end to end untuk meningkatkan kapasitas dari manajemen transmisi trafik.

Optical Transport Network (OTN) merupakan standar internasional yang didefinisikan oleh ITU-T melalui rekomendasi G.709, yang mengatur struktur frame, multiplexing, serta mekanisme monitoring jaringan optik secara end-to-end (ITU-T, 2016). Standar ini memungkinkan pengelolaan jaringan backbone menjadi lebih terstruktur dan interoperabel. OTN sendiri secara luas diakui sebagai penyedia layanan utama dari teknologi transport untuk layanan *multi service*, dan jaringan paket optik secara fisik. Migrasi ke jaringan OTN membuat perpindahan trafik dari sistem *circuit* ke sistem *packet* dapat berjalan secara mulus dan cepat secara *end to end*. Dengan cara mengadopsi arsitektur sistem paket optik dimulai dengan cara memordenisasi sistem jaringan inti (*core network*) dari perangkat SDH menuju sistem OTN yang berbasis layanan *multi service*.

Keunggulan Utama dari OTN adalah: *Multi service* dengan cara memudahkan banyak *clients* dan *service* yang dapat dikirimkan menggunakan satu jenis panjang gelombang, dimana secara ekonomis OTN mampu menyediakan solusi yang lebih murah dengan cara memaksimalkan penggunaan kapasitas dari DWDM sendiri. Selain itu OTN juga dapat melakukan konfigurasi *bandwidth* untuk tiap layanan trafik dari tiap-tiap bagian *network* yang lain. Hal ini berarti kapasitas dan manajemen performansi dari jaringan seperti *throughput*, *latency*, *jitter* dapat dijamin dengan baik untuk tiap *clients* dan tidak ada bentrokan diantara *service* trafik.

Selain dari itu, keunggulan lain dari OTN adalah fleksibilitas jaringan yang dapat memberikan operator jaringan untuk memasukkan teknologi yang dibutuhkan untuk mensupport kebutuhan sistem transport jaringan *backbone* optik sambil mengadopsi teknologi baru didalam keperluan bisnis mereka. OTN juga memiliki keamanan dari segi design dimana OTN sendiri menjamin *high level privacy* dan kamanan melalui pembagian layanan trafik kedalam *circuit* yang diinginkan. Pemisahan dari jaringan trafik membuat tingkat kesulitan tinggi didalam penyadapan data yang dikirimkan antar jaringan dimana didalam jaringan tersebut terpasang *link* OTN yang terchannelise. Keunggulan OTN yang terakhir adalah mudah didalam pengoperasian dan tahan lama serta dapat membuat para operator membuat *service* layanan trafik yang baru secara lebih cepat dan efisien disamping juga meminimalisir biaya yang diperlukan kedepan.

OTN sendiri terdiri dari beberapa komponen yang membentuk hirarki komunikasi antar jaringan node yang disebut sebagai *Optical Transport Module* (OTM). OTM sendiri adalah struktur transport dari seluruh *interface line* optik yang ada didalam perangkat OTN. OTM sendiri terdiri dari dua bagian yaitu *Digital Section* dan *Analog Section*. Untuk segment digital sendiri terdiri dari *Optical Channel Payload Unit* (OPU), *Optical Channel Data Unit* (ODU), dan *Optical Channel Transport Unit Payload* (OPU) (Ciena Corporation, 2015). Segment digital ini digunakan untuk *mapping* (pemetaan) dari jenis trafik yang ada disisi *clients*, juga bisa digunakan untuk *switching* dan *multiplexing*, dan kemudian mengirimkan kearah tujuan. Sedangkan segmen analog, terdiri dari *Optical Carrier Channle* (OCC), *Optical Multiplex Section* (OMS), dan *Optical Transmission Section* (OTS). Setelah melalui kedua segment digital dan segment analog, maka sistem arsitektur OTM diteruskan kearah OTM *Overhead Signal* (OSS). Gambar 3 dibawah ini menunjukkan arsitektur OTN.



Gambar 3. Arsitektur Sistem OTN

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan rekayasa jaringan (engineering design). Fokus penelitian adalah merancang jaringan backbone serat optik menggunakan teknologi Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) yang terintegrasi dengan Optical Transport Network (OTN). Pendekatan dilakukan melalui; analisis kebutuhan trafik, perancangan topologi jaringan, simulasi performansi jaringan, evaluasi hasil desain.

Lokasi penelitian mencakup wilayah Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, dengan fokus pada: Pulau Bangka, Pulau Belitung dan Koneksi antar kota/kabupaten utama (Pangkalpinang, Sungailiat, Tanjung Pandan, dll.)

Tahapan penelitian ditunjukkan pada alur berikut:

1. Studi literatur
2. Pengumpulan data
3. Analisis kebutuhan jaringan
4. Perancangan topologi backbone
5. Perhitungan link budget dan kapasitas
6. Simulasi jaringan
7. Evaluasi performansi
8. Penarikan kesimpulan

Teknik Pengumpulan Data anatara lain data kebutuhan trafik (estimasi pengguna, bandwidth), data lokasi node (kota/kabupaten) dan data jarak antar wilayah, peta geografis wilayah, data jumlah penduduk dan pertumbuhan trafik dan standar teknologi DWDM dan OTN (ITU-T G.694, G.709)

Pada jaringan backbone kabel optik, ada 4 metode yang digunakan didalam memastikan tingkat kehandalan dan kelayakan sebuah system infrastruktur yang dibangun dan dipasang pada suatu wilayah dan area baik dalam skala kota, kabupaten, provinsi maupun sampai dengan pulau. Keempat metode tersebut adalah:

Optical Link Power Budget (OLPB) adalah Mengukur keseimbangan daya antara pemancar dan penerima (Keiser, 2011) estimasi kebutuhan daya yang diperlukan untuk memastikan level daya disisi penerima lebih besar dari daya minimum dengan persamaan berikut:

$$OLPB = (L \times \alpha_f) + (N \times \alpha_c) + (N_{sp} \times \alpha_{sp}) + M \quad (1)$$

Optical Signal Noise Ratio (OSNR) adalah menunjukkan kualitas sinyal optik terhadap noise dan sangat mempengaruhi nilai Bit Error Rate (BER) (Agrawal, 2012). Pengukuran rasio perbandingan antara sinyanya dengan daya noise pada saluran transmisi kabel optik dengan persamaan sebagai berikut:

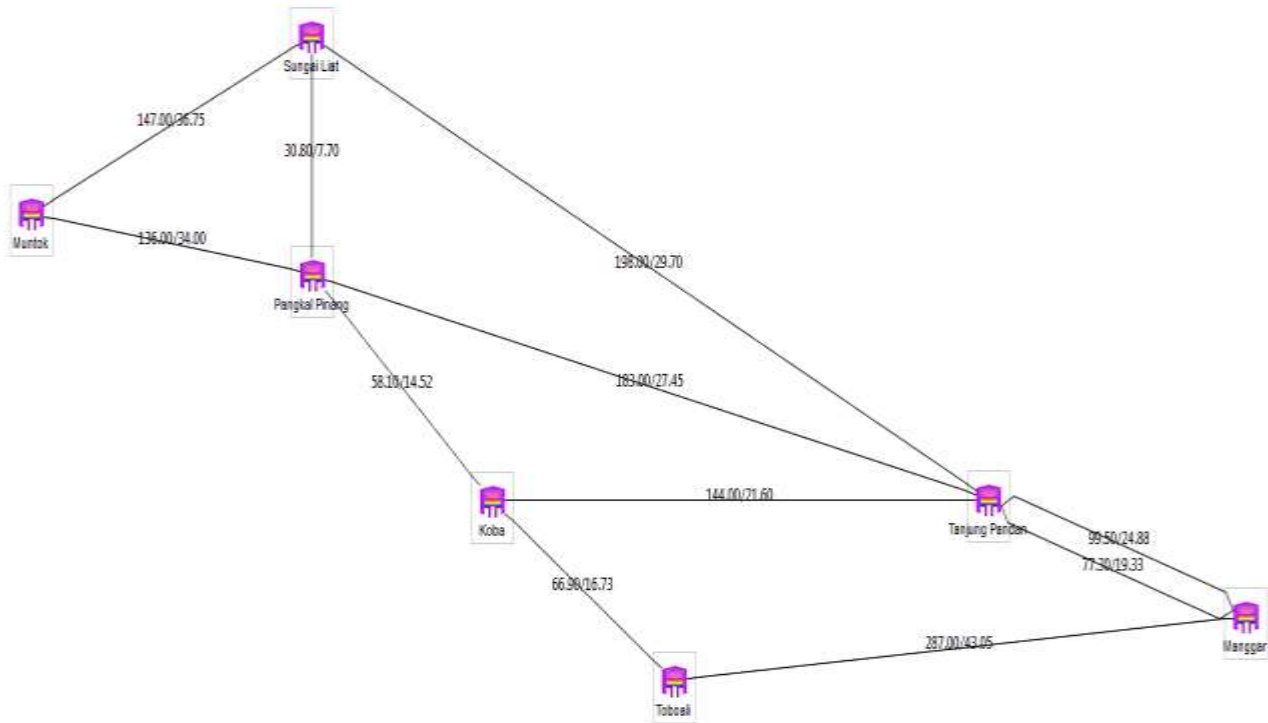
$$OSNR = \frac{P_{Out}}{N_{ASE}} = \left(\frac{P_{Out}}{(NF \times G - 1)(hf)(\Delta f)} \right) \quad (2)$$

Optical Rise Time Budget (ORTB) Digunakan untuk memastikan bahwa dispersi tidak menyebabkan degradasi sinyal berlebihan (Ramaswami et al., 2010).

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan DWDM-OTN memberikan hasil performansi yang baik pada jaringan backbone regional (Nurdiana et al., 2015; Izza et al., 2017; Yudiansyah et al., 2018).

Hasil

Pada provinsi Kepulauan Bangka – Belitung, perancangan topologi jaringan *backbone* juga mengikuti segment Kota Madya dan Kota Kabupaten yang terdapat didalam provinsi tersebut. Perancangan desain jaringan menggunakan *Software OTN Planner*. Untuk provinsi Kepulauan Bangka – Belitung sendiri memiliki total 6 kota kabupaten dan 1 kota madya. Pada perancangan topologi jaringan *backbone* dengan menggunakan software *Optical Transport Network Planner* (OTN Planner) tersebut, terdapat 22 segment DWDM OTN yang diwakili oleh ke 6 Ibukota Kabupaten dan 1 Kota Madya yang ada pada jaringan backbone kabel optik provinsi Kepulauan Bangka – Belitung seperti pada gambar 6 dibawah



Gambar 4 Desain topologi jaringan backbone provinsi Bangka belitung

Perhitungan perhitungan *Optical Link power budget* (OLPB) untuk provinsi Kepulauan Bangka – Belitung menggunakan rumus persamaan yang sudah ada sebelumnya. Dari rumus persamaan pada pembahasan OLPB, sehingga dapat dilakukan perhitungan nilai dari *Optical Link Power Budget* (OLPB) seperti ditunjukkan pada tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 1. Parameter Data *Optical Link Power Budget* (OLPB) Segment Kabel Darat

No	Sites A Name	Sites B Name	L-Cable (Km)	Cable Attn (dB/Km)	CN Loss (dB)	JC Loss (dB)	Number JC	Margin (dB)
1	Muntok	Sungai Liat	147	0,25	0,05	0,08	37	7
2	Muntok	Pangkal Pinang	136	0,25	0,05	0,08	34	7
3	Sungai Liat	Pangkal Pinang	30,8	0,25	0,05	0,08	8	7
4	Pangkal Pinang	Koba	58,1	0,25	0,05	0,08	15	7
5	Koba	Toboali	66,9	0,25	0,05	0,08	17	7

6	Tanjung Pandan (Main)	Manggar (Main)	77,3	0,25	0,05	0,08	20	7
7	Tanjung Pandan (Back-Up)	Manggar (Back-Up)	99,5	0,25	0,05	0,08	25	7

Tabel 2. Parameter Data *Optical Link Power Budget* (OLPB) Segment Kabel Laut

No	Sites A Name	Sites B Name	L-Cable (Km)	Cable Attn (dB/Km)	Repeater Gain (dB)	Margin (dB)
8	Sungai Liat	Tanjung Pandan	198	0,15	23	5
9	Pangkal Pinang	Tanjung Pandan	183	0,15	23	5
10	Koba	Tanjung Pandan	144	0,15	23	5
11	Toboali	Manggar	287	0,15	23	5

Perhitungan OSNR untuk provinsi Kepulauan Bangka – Belitung menggunakan persamaan rumus pada pembahasan OSNR yang sudah ada sebelumnya Berdasarkan hasil tersebut, seluruh nilai OSNR berada dalam rentang 20–40 dB yang menunjukkan kualitas sinyal optik masih berada dalam kategori baik (Agrawal, 2012). Selain itu, hasil perhitungan OLPB menunjukkan margin daya masih mencukupi untuk mendukung transmisi data jarak jauh, sejalan dengan temuan Keiser (2011). Tabel 3 dibawah ini menunjukkan nilai dari parameter *Module Amplifier* seperti, *Gain*, *Noise Figure*, dan *Output Power* beserta parameter tambahan yang sudah ada didalam tiap-tiap segment. Tabel 3 dibawah ini menunjukkan hasil perhitungan nilai OSNR. Hasil ini konsisten dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa teknologi DWDM–OTN mampu memberikan performansi jaringan backbone yang stabil dan efisien (Kartalopoulos, 2013; Yudiansyah et al., 2018)

Tabel 3. Parameter Data *Optical Signal Noise Ratio* (OSNR)

No	Sites A Name	Sites B Name	Gain (dB)	Noise Figure (dB)	P-mod (dBm)	Loss Attn / α L (dB)
1	Muntok	Sungai Liat	36,00	6,50	40,00	36,75
2	Muntok	Pangkal Pinang	34,00	6,50	37,00	34,00
3	Sungai Liat	Pangkal Pinang	7,00	5,50	10,00	7,70
4	Pangkal Pinang	Koba	14,00	5,50	17,00	14,52
5	Koba	Toboali	16,00	6,50	19,00	16,73
6	Tanjung Pandan (Main)	Manggar (Main)	24,00	6,50	27,00	24,88
7	Tanjung Pandan (Back-Up)	Manggar (Back-Up)	19,00	6,50	21,00	19,33
8	Sungai Liat	Tanjung Pandan	29,00	6,50	32,00	29,70
9	Pangkal Pinang	Tanjung Pandan	27,00	6,50	30,00	27,45
10	Koba	Tanjung Pandan	21,00	6,50	23,00	21,60
11	Toboali	Manggar	43,00	6,50	47,00	43,05

Perhitungan *Optical Rise Time Budget* (ORTB) untuk provinsi Kepulauan Bangka – Belitung menggunakan rumus persamaan pada pembahasan ORTB yang sudah ada sebelumnya. Tabel 15 dibawah ini menunjukkan nilai dari parameter Panjang Kabel Optik, *Modal Optical Dispersion*, *Spectral Width*, *Transmitter Rise Time*, *Fiber Optic Rise Time*, *Receiver Rise Time*, beserta parameter tambahan yang sudah ada didalam tiap-tiap segment. Tabel 16 dibawah ini menunjukkan hasil perhitungan nilai ORTB.

Tabel 4. Parameter Data *Optical Rise Time Budget* (ORTB)

No	Sites A Name	Sites B Name	L-Cable (Km)	Dispersion ps/nm (Km)	Spectral Width (nm)	Rise Time (Tx) (ps)	Rise Time (Rx) (ps)
1	Muntok	Sungai Liat	147	0,0035	2,75	50	15
2	Muntok	Pangkal Pinang	136	0,0035	2,75	50	15
3	Sungai Liat	Pangkal Pinang	30,8	0,0035	2,75	50	15
4	Pangkal Pinang	Koba	58,1	0,0035	2,75	50	15
5	Koba	Toboali	66,9	0,0035	2,75	50	15
6	Tanjung Pandan (Main)	Manggar (Main)	77,3	0,0035	2,75	50	15
7	Tanjung Pandan (Back-Up)	Manggar (Back-Up)	99,5	0,0035	2,75	50	15
8	Sungai Liat	Tanjung Pandan	198	0,0035	2,75	50	15
9	Pangkal Pinang	Tanjung Pandan	183	0,0035	2,75	50	15
10	Koba	Tanjung Pandan	144	0,0035	2,75	50	15
11	Toboali	Manggar	287	0,0035	2,75	50	15

Pembahasan

Penelitian ini dilakukan untuk merancang jaringan backbone berbasis serat optik di wilayah Kepulauan Bangka Belitung dengan memanfaatkan teknologi DWDM yang terintegrasi dengan OTN. Wilayah ini memiliki karakteristik geografis berupa kepulauan yang terdiri dari Pulau Bangka dan Pulau Belitung serta beberapa pulau kecil di sekitarnya. Kondisi tersebut menjadi tantangan tersendiri dalam pembangunan infrastruktur jaringan, khususnya dalam hal konektivitas antar wilayah dan keandalan jaringan.

Berdasarkan hasil analisis, perancangan jaringan backbone dilakukan dengan menggunakan topologi ring yang menghubungkan node-node utama seperti Pangkalpinang, Sungailiat, Muntok, Toboali, Tanjung Pandan, dan Manggar. Pemilihan topologi ring didasarkan pada kemampuannya dalam menyediakan jalur redundansi, sehingga ketika terjadi gangguan pada salah satu link, trafik dapat dialihkan melalui jalur alternatif. Hal ini sangat penting untuk menjamin ketersediaan layanan, terutama pada wilayah kepulauan yang rentan terhadap gangguan fisik seperti putusnya kabel optik akibat faktor lingkungan.

Dari sisi kapasitas, teknologi Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) memungkinkan peningkatan kapasitas transmisi secara signifikan dengan memanfaatkan banyak kanal panjang gelombang dalam satu serat optik. Dalam penelitian ini digunakan konfigurasi sebanyak 80 kanal dengan kecepatan masing-masing sebesar 100 Gbps. Dengan demikian, total kapasitas jaringan yang dihasilkan mencapai 8 Tbps. Kapasitas ini dinilai sangat memadai untuk memenuhi kebutuhan trafik saat ini maupun pertumbuhan di masa mendatang, termasuk untuk mendukung layanan broadband, komunikasi data skala besar, serta pengembangan jaringan 5G.

Selanjutnya, analisis link budget dilakukan untuk memastikan bahwa daya sinyal yang diterima masih berada dalam batas toleransi sistem. Berdasarkan hasil perhitungan, total redaman yang terjadi pada jalur transmisi dapat dikompensasi dengan penggunaan penguat optik seperti Erbium-Doped Fiber Amplifier (EDFA). Hasil menunjukkan bahwa daya sinyal yang diterima masih memenuhi sensitivitas perangkat penerima, sehingga sistem dapat beroperasi dengan baik. Selain itu, margin sistem yang tersedia juga cukup untuk mengantisipasi degradasi sinyal akibat faktor eksternal.

Integrasi teknologi Optical Transport Network (OTN) dalam desain ini memberikan nilai tambah yang signifikan, terutama dalam hal efisiensi dan pengelolaan trafik. OTN memungkinkan proses grooming trafik dari berbagai jenis layanan ke dalam struktur frame yang lebih terorganisir. Selain itu, fitur forward error correction (FEC) yang dimiliki OTN mampu meningkatkan kualitas transmisi dengan mengurangi kesalahan bit selama proses pengiriman data. Dengan demikian, jaringan tidak hanya memiliki kapasitas besar, tetapi juga kualitas layanan yang tinggi.

Hasil simulasi jaringan menunjukkan performansi yang sangat baik. Nilai Bit Error Rate (BER) yang diperoleh berada pada kisaran 10^{-12} hingga 10^{-15} , yang berarti jauh lebih baik dari standar minimum yang ditetapkan. Selain itu, nilai Q-factor yang dihasilkan berada di atas batas minimum, menunjukkan bahwa kualitas sinyal masih dalam kondisi sangat baik. Parameter Optical Signal to Noise Ratio (OSNR) juga menunjukkan nilai yang tinggi, yang mengindikasikan bahwa gangguan noise dalam sistem relatif kecil dan tidak mempengaruhi kualitas transmisi secara signifikan.

Dari sisi keandalan, penggunaan topologi ring terbukti mampu meningkatkan reliability jaringan. Ketika terjadi gangguan pada salah satu jalur, sistem secara otomatis akan mengalihkan trafik ke jalur lain dalam waktu yang sangat singkat. Hal ini menjadikan jaringan backbone yang dirancang memenuhi kriteria carrier-grade network, yang sangat dibutuhkan untuk mendukung layanan komunikasi yang bersifat kritis.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi teknologi DWDM dan OTN merupakan solusi yang sangat efektif untuk pembangunan jaringan backbone di wilayah kepulauan seperti Bangka Belitung. Desain yang dihasilkan tidak hanya mampu menyediakan kapasitas yang besar, tetapi juga menjamin keandalan dan kualitas layanan. Dibandingkan dengan jaringan konvensional, pendekatan ini memberikan peningkatan yang signifikan dalam hal efisiensi penggunaan serat optik, fleksibilitas pengelolaan trafik, serta kemampuan untuk mendukung berbagai jenis layanan komunikasi modern.

Dengan demikian, desain jaringan backbone berbasis DWDM-OTN yang diusulkan dapat dijadikan sebagai referensi dalam pengembangan infrastruktur telekomunikasi di daerah kepulauan lainnya di Indonesia, serta mendukung percepatan transformasi digital di tingkat regional maupun nasional.

Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan desain jaringan backbone serat optik di wilayah Kepulauan Bangka Belitung dengan memanfaatkan teknologi DWDM yang terintegrasi dengan OTN. Topologi ring yang diterapkan mampu meningkatkan keandalan jaringan melalui mekanisme proteksi dan redundansi, sehingga sesuai untuk kondisi geografis kepulauan.

Pemanfaatan DWDM memungkinkan peningkatan kapasitas transmisi hingga skala terabit per detik, sementara integrasi OTN memberikan efisiensi dalam pengelolaan trafik serta peningkatan kualitas layanan melalui mekanisme error correction. Hasil simulasi menunjukkan bahwa parameter performansi seperti BER, Q-factor, dan OSNR telah memenuhi standar yang ditetapkan, sehingga desain jaringan dinyatakan layak untuk diimplementasikan.

Secara keseluruhan, kombinasi DWDM-OTN terbukti efektif dalam menyediakan jaringan backbone dengan kapasitas besar, keandalan tinggi, dan kualitas layanan yang optimal, serta berpotensi mendukung pengembangan infrastruktur telekomunikasi di wilayah kepulauan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih disampaikan kepada institusi pendidikan yang telah memberikan fasilitas dan dukungan akademik, serta kepada para dosen dan rekan yang telah memberikan masukan, saran, dan motivasi selama proses penelitian dan penulisan artikel ini. Selain itu, apresiasi juga diberikan kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyediaan data dan informasi sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Referensi.

- Stallings, W. (stallings, 2014). *Data and computer communications* (10th ed.). Boston, MA: Pearson
- Rifa Atul Izza, Firdaus, Eka Indarto, Ida Nurcahyani, “*Perancangan Jaringan Backbone dan Distribusi 4G LTE di Sleman Berbasis Jaringan Serat Optik*”, Prosiding SNATIF ke-4 Tahun 2017 (Izza, 2017)
- Yudiansyah, Arie Pangesti AJi, Prita Dewi Mariyam, Novietasari Chrisnariandini (Yudiansyah, 2018), “*Design of Land Optical Fiber Backbone Communication Network in North Sumatera*”, Conference Paper 2018, International Conference on Information and Communication Technology ICOIACT.
- Ibukota Indonesia direncanakan pindah ke provinsi Kalimantan Timur oleh pemerintah https://www.cnnindonesia.com/nasional/20190826115726-32_424625/jokowi-ibu-kota-baru-di-kalimantan-timur diakses 26 Agustus 2019 (Fra, 2019).
- Kartalopoulos, S. V. (2013). *DWDM networks, devices, and technology*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Nurdiana, F. A., Sugito, & Naning, S. (2015). Perancangan dan analisis sistem komunikasi serat optik link Makassar–Maumere menggunakan DWDM. *JNTETI*, 4(3), 215–222.
- Ramaswami, R., Sivarajan, K. N., & Sasaki, G. H. (2010). *Optical networks: A practical perspective* (3rd ed.). San Francisco, CA: Morgan Kaufmann.
- Senior, J. M., & Jamro, M. Y. (2009). *Optical fiber communications: Principles and practice* (3rd ed.). London: Pearson.
- Tan, C. C., & Zhou, X. (2015). Performance evaluation of DWDM-based optical backbone networks. *International Journal of Computer Networks*, 7(2), 45–52.
- Yudiansyah, A. P. A., Mariyam, P. D., & Chrisnariandini, N. (2018). Design of land optical fiber backbone communication network in North Sumatera. *Proceedings of ICOIACT*, 245–250.
- Zhang, J., & Mukherjee, B. (2004). A review of fault management in WDM optical networks. *IEEE Network*, 18(2), 41–48.
- ITU-T. (2016). *Recommendation G.709: Interfaces for the Optical Transport Network (OTN)*. Geneva: International Telecommunication Union.
- Mukherjee, B. (2006). *Optical WDM networks*. New York, NY: Springer (Mukherjee, 2006)
- <https://www.submarinenetworks.com/en/insights/next-generation-submarine-network-innovative-repeater-technology>.

<https://www.thefoa.org/tech/connID.htm><https://www.thefoa.org/conn/index.html>, type of fiber optic cable connector, diakses pada tanggal 19 November 2021.