ANALISIS PERFORMANSI OPTICAL TRAFFIC GROOMING DALAM ELASTIC OPTICAL NETWORK BERBASIS OFDM

PERFORMANCE ANALYSIS OF OPTICAL TRAFFIC GROOMING ON ELASTIC OPTICAL NETWORK BASED ON OFDM

Richo Pratama Putra[1], Akhmad Hambali, IR., M.T.,[2], Tjahjo Adiprabowo R., IR., M.Eng.[3]
Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom.

[1]richoopratama@students.telkomuniversity.ac.id, [2]akhmadhambali@telkomuniversity.ac.id ,
[3]tjahjoadiprabowo@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Kebutuhan masyarakat Indonesia saat ini untuk komunikasi data terus meningkat, Salah satu jaringan komunikasi yang mampu menangani kebutuhan masyarakat akan komunikasi data adalah jaringan komunikasi optic. Umumnya di Indonesia sebagian besar jaringan komunikasi optic menggunakan teknologi WDM. Masalah utama dalam Teknologi WDM optic adalah kurang efisiensinya dalam hal jumlah spektrum slot yang diutilisasi dan transmitter yang digunakan dalam suatu topologi jaringan optic.Untuk menyelesaikan permasalahan ini, digunakan elastic optical network berbasis OFDM. Utilisasi spektrum slot dan transmitter yang digunakan dalam suatu jaringan elastic optical network berbasis OFDM dapat dilihat dengan menggunakan algoritma *Integer Linear Programming* dengan metode *Optical Traffic Grooming* . Prinsip algoritma Integer Linear Programming adalah mencari nilai minimal atau maksimal dari suatu parameter berdasarkan constraint yang dibutuhkan, dimana constraint untuk perhitungan *Integer Linear Programming* ini disesuaikan agar mendukung metode *Optical Traffic Grooming* . Dipilih total 80 data kandidat jalur hasil algoritma k-shortest path untuk diinisialisasi dalam algoritma ILP, dengan total perbandingan data dalam ILP sebanyak 6080 data, dihasilkan C_{total} = 30400 spektrum slot dengan nilai D sebesar 4 subcarriers. Dan total penggunaan transmitter T_{total} = 5472, jika dibandingkan dengan *non grooming* penghematan transmitter yang diperoleh adalah 10% dengan nilai D sebesar 4 subcarriers.

Kata Kunci : *OFDM, Elastic Optical Network, Integer Linear Programming, Traffic Grooming*

Abstract

Needs of Indonesian people nowadays for data communication are increasing continuously, one of the communication networks that can handle people's need for data communication are optical communication network. Generally in Indonesia, most of optical communication network uses WDM technology. Main problem for WDM optical technology is lack of efficiency when coming to total spectrum slot usage and transmitter usage in the optical network. In order to solve this problem, Elastic Optical Network based on OFDM are used. Spectrum slot utilization and transmitter usage on Elastic Optical Network based on OFDM can be calculated using Integer Linear Programming algorithm with Optical Traffic Grooming method. Fundamental of Integer Linear Programming is searching for minimum or maximum value from parameters based on required constraint, constraint which are used for Integer Linear Programming adjusted to support Optical Traffic Grooming Method. 80 candidate paths were choosen from k-shortest path algorithm result to be initialized on ILP algorithm, with the total data comparison of 6080, the result for C_{total} = 30400 spectrum slot with D value of 4 subcarriers. Transmitter usage total of (T_{total}) = 5472, if compared with non grooming scheme, Transmitter saving will be 10% as the result of Optical Traffic Grooming Method.

Keyword : OFDM, Elastic Optical Network, Integer Linear Programming, Traffic Grooming

1. Pendahuluan

Kebutuhan masyarakat Indonesia saat ini untuk komunikasi data terus meningkat mengalahkan kebutuhan untuk pesan singkat (SMS) maupun panggilan, dengan bertambahnya permintaan *traffic* data ini, dibutuhkan media transmisi komunikasi dengan kapasitas yang besar dan dapat diandalkan, salah satunya adalah *fiber optic*. Untuk mendukung pertumbuhan *traffic* ini, jaringan optik dengan kapasitas yang besar dibutuhkan, bersamaan dengan koneksi dengan *data rate* yang tinggi [1]. Jaringan optik saat ini secara umum menggunakan teknologi WDM, namun teknologi ini membatasi kemampuan jaringan tersebut dalam hal penyediaan bandwidth, kurang efisiennya utilisasi kapasitas dari transponder yang berpengaruh pada biaya pembangunan jaringan optik itu sendiri. Sebuah konsep jaringan *Elastic Optical Networks* sedang dikembangkan untuk mengatasi masalah tersebut. Dimana jaringan ini dipergunakan untuk utilisasi sumber daya jaringan berdasarkan elastisitas, seperti kemamppuan untuk mengubah parameter transmisi, termasuk

data rate atau *channel spacing* [1]. Untuk penelitian dalam bidang *Elastic Optical Network* berbasis OFDM sendiri sudah dilakukan pada penelitian [3] dan [4]. Untuk penelitian [3] melakukan pendekatan *Optical Traffic Grooming* pada *Elastic Optical Network* berbasis OFDM yang menghasilkan penghematan transmitter dan penghematan spectrum. Dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisis dan simulasi *Optical Traffic Grooming* pada *Elastic Optical Network* berbasis OFDM dengan spesifikasi jaringan optik di Indonesia, dan menggunakan BV-Transponder dengan kapasitas yang berbeda dengan penelitian [3], untuk spesifikasi alat yang lain disesuaikan dengan penelitian [3]. untuk perhitungan algoritma digunakan Software Simulasi. Ruang lingkup tugas akhir ini adalah pada simulasi metode *Optical Traffic Grooming* menggunakan algoritma *Integer Linear Programming* pada jaringan 5 node yang telah dibuat sebelumnya untuk *Elastic Optical Network*. Dari jaringan 5 node dilakukan pencarian kandidat jalur dengan menggunakan algoritma dijkstra dan k-shortest path untuk kemudian dilakukan proses *Integer Linear Programming* pada kandidat jalur tersebut. Tujuan dari tugas akhir ini adalah membuat simulasi dan analisis data pada *Elastic Optical Network* dengan melihat hasil dari metode *Optical Traffic* Grooming menggunakan algoritma *Integer Linear Programming* untuk mendapatkan nilai minimum spektrum slot yang digunakan dan penggunaan transmitter berdasarkan data kandidat jalur yang telah diperoleh pada sebelumnya.

2. Dasar Teori

A. Elastic Optical Network berbasis OFDM

Elastic Optical Network merupakan arsitektur jaringan yang menggunakan media transmisi *fiber optic* yang memiliki efisiensi penggunaan spektrum, *data rate* yang fleksibel, efisiensi *resource*, dan memiliki biaya pembangunan yang relative murah jika dibandingkan dengan jaringan optik konvensional. Di dalam *Elastic Optical Network* digunakan teknik *multi-carrier* OFDM, yang mana cocok digunakan untuk arsitektur jaringan ini dikarenakan, dalam OFDM dapat menggabungkan beberapa sub-wavelength menjadi satu (*super-wavelength*) dan mengeliminasi guardband yang ada sebelumnya.

Tabel 1. Perbedaan jaringan WDM dengan elastic optical network [3].

	Jaringan WDM	***Elastic Optical Network***
Sub-wavelength	*Fixed Spectrum Allocated*	*Elastic Spectrum allocated*
Super-wavelength	Multiplexing secara *inverse*, beberapa kanal WDM dialokasikan sebelumnya	Menggabungkan beberapa kanal OFDM menjadi *super-channel*, ortogonalitas spektrum terjamin sepanjang kanal
Transponder	1 tipe transponder untuk 1 *data-rate*	1 tipe BV-Transponder digunakan untuk seluruh layanan

Elastic Optical Network memiliki elemen penting untuk memastikan skalabilitas dan efisiensi *resource*-nya, yaitu BV-Transponder dan BV-Optical Cross Connect. BV-Transponder digunakan untuk mentransmisikan data ke node tujuan, yang dapat mendukung baik *sub-wavelength* maupun *super-wavelength*. BV-OXC digunakan untuk melakukan *switch* untuk tiap optical path yang berasal dari BV-T maupun node sebelumnya, untuk diteruskan ke tujuan [4].

OFDM merupakan teknik modulasi multi-carrier yang dapat mentransmisikan data kecepatan tinggi dengan membaginya menjadi beberapa kanal yang orthogonal (yang disebut *sub-carrier*), yang tiap subcarrier membawa *data-rate* yang relative rendah [4]. Keuntungan penggunaan teknik OFDM adalah, (1) OFDM membagi *data-rate* yang tinggi menjadi beberapa *sub-carrier* yang dapat menaikkan durasi symbol dan mengurangi *inter-symbol-interference*, (2) Efisiensi spektrum yang tinggi dapat diperoleh dengan *overlapping sub-carrier*, sehingga kapasitas sistem menjadi lebih besar, (3) OFDM dapat menaikkan dari kecepatan transmisi dari rendah ke tinggi dengan menambah *sub-carrier* yang ada, tanpa perubahan besar dalam sistem. Namun kekurangan OFDM adalah *high peak to-average power ratio* (PAPR) yang diakibatkan oleh sintesis symbol dari beberapa *sub-carrier* yang parallel.

B. *Bandwidth-Variable Optical Cross Connects* [3] dan *Bandwidth-Variable Transponder* [6]

Bandwidth-Variable Optical Cross Connects (BV-OXC) merupakan elemen dalam *elastic optical network.* Berfungsi untuk melakukan switching sinyal optik menuju node lain atau ke perangkat dalam jaringan yang berbasis *optical* (*dalam elastic optical network* biasanya menuju ke *BV-Receiver).Bandwidth-variable transponder* (BV-T) merupakan elemen penting dalam *elastic optical network*. BV-T memiliki kemampuan dalam hal fleksibilitas dalam mentransmisikan data, seperti format modulasi yang digunakan, *data-rate*, jumlah *sub-carrier*, dan penggunaan bandwidth.

C. Algoritma Dijkstra dan K-Shortest Path

Persoalan mencari lintasan terpendek didalam graf merupakan salah satu persoalan optimasi. Graf yang digunakan dalam pencarian lintasan terpendek adalah graf berbobot, yaitu graf yang setiap sisinya diberikan suatu nilai bobot. Bobot pada sisi graf menyatakan jarak antar kota, ongkos pembangunan, waktu pengiriman pesan dan sebagainya. Asumsi yang digunakan disini adalah bahwa semua bobot bernilai positif. Kata "terpendek" tidak selalu diartikan secara fisik sebagai panjang minimum, sebab kata terpendek berbeda-beda maknanya, bergantung pada persoalan yang akan diselesaikan [7]. Namun secara umum kata "terpendek" berarti minimisasi bobot pada suatu lintasan didalam graf.

Sampai saat ini sudah banyak algoritma untuk mencari lintasan terpendek. Algoritma lintasan terpendek yang paling terkenal adalah algoritma Dijkstra. Algoritma Dijkstra diterapkan untuk menacari lintasan terpendek pada graf berarah. Namun algoritma ini benar untuk graf tak-berarah.

Algoritma K-shortest path hampir sama dengan algoritma dijkstra dalam hal pencarian jalur, namun terdapat variabel k yang menjadi perbedaan. K merupakan banyaknya kandidat jalur yang diinginkan untuk tiap pasang node awal dan tujuan, berbeda dengan algoritma dijkstra yang hanya mengambil jalur terpendek pertama saja, algoritma k-shortest path dapat digunakan untuk mengambil kandidat jalur yang diinginkan sesuai k untuk dilakukan análisis yang dibutuhkan.

D. Algoritma Gabungan Routing and Spectrum Allocation (RSA) dan *Integer Linear Program (ILP)* [3]

ILP merupakan salah satu algoritma yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan *Routing and Spectrum Allocation* (RSA) dalam *optical traffic grooming*. Penyelesaian *optical grooming* ILP berdasarkan formulasi dari *non-grooming* RSA [7], dengan menambahkan formulasi untuk mendukung *optical grooming*. Variabel didefinisikan secara independen dalam model ILP berdasarkan index slot untuk meningkatkan skalabilitas dari model yang akan digunakan untuk penelitian.

Topologi jaringan yang akan digunakan dalam simulasi dan algoritma ILP, merupakan $G = (V,E)$, dimana V adalah node dalam jaringan (yaitu 1,2,3,4,5), dan E adalah pasangan *link* searah {(1,2), (1,3), (1,5), (2,3), (2,5), (3,4), (4,5)}. Dari topologi tersebut dilakukan pencarian kandidat jalur (*pre-calculated path*) menggunakan algoritma dijkstra dan k-shortest path, dimana kandidat jalur tersebut yang akan dilakukan proses ILP metode *Optical Traffic Grooming*.

Untuk pasangan node (*s*,*d*) dimana *s* merupakan *source* dan *d* merupakan *destination* dilakukan *pre-calculate shortest path* didefinisikan dengan k.

- P_{sd} merupakan set kandidat jalur untuk (*s*,*d*), dan $U_{(s,d)}P_{sd}$ merupakan total set dari kandidat jalur keseluruhan.
- p_{sdi} merupakan kandidat jalur ke *i* dalam P_{sd} .
- q_{sdik} merupakan subpath dari p_{sdi} yang dimulai dari *source node s* dan berakhir pada node selanjutnya *k* .

. Dengan menggunakan *pre-calculated path*, solusi yang optimal dapat didapat untuk seluruh kemungkinan jalur *routing*. Dalam model ini diasumsikan semua layanan dapat di dukung dalam jaringan ini.

1.) Variable

C_l : Jumlah slot spektrum yang digunakan dalam link l, $l \in E$.

C_{total} : Jumlah slot spektrum yang digunakan dari semua link dalam jaringan

Tt_{total} : Variabel integer yang merepresentasikan jumlah transmitter yang digunakan untuk memenuhi permintaan *traffic* yang ada di jaringan.

x_{sdi} : Variabel Boolean yang menunjukkan utilisasi dari jalur $p_i \in P_{sd}$. $x_{sdi} = 0$ jika jalur p_i tidak diutilisasi (digunakan), dan $x_{sdi} = 1$ jika p_i diutilisasi (digunakan).

f_{sd} : Variabel integer yang menunjukkan nomor slot spektrum awal untuk koneksi (*s*,*d*) ; nomor slot dimulai dari 0.

F_{sd} : Variabel integer yang menunjukkan nomor slot spektrum awal untuk *optical tunnel* yang membawa koneksi (*s*,*d*).

$\delta^{sd,s'd'}$: Variabel boolean yang bernilai 1 jika koneksi *sub-wavelength* (*s*,*d*) memakai kandidat rute p_i , dan 2 koneksi digabung menjadi satu *optical tunnel*, bernilai 0 untuk kondisi sebaliknya.

$\delta^{s'd',sd}$: Variabel boolean yang bernilai 1 jika slot spektrum awal dari koneksi *sub-wavelength* (*s*,*d*) lebih besar daripada slot spektrum awal dari koneksi *sub-wavelength* (*s',d'*), 0 jika kondisi sebaliknya.

$\delta^{sd,sd'}$: Variabel boolean yang bernilai 1 jika koneksi (*s*,*d*) menggunakan koneksi transmitter (*s*,*d'*), 0 jika kondisi sebaliknya

T_{sd} : Variabel boolean yang bernilai 1 jika koneksi (*s*,*d*) menggunakan transmitter secara independen, bernilai 0 jika menggunakan transmitter bersamaan dengan koneksi lain.

Λ_{sd} : Total *Sub-carriers* yang dibutuhkan untuk tiap pasang jalur *s*,*d*

W : Kapasitas dari semua kebutuhan koneksi ($W = \Sigma_{sd} \Lambda_{sd}$).

2.) Tujuan Fungsi

Tujuan dari model ini adalah untuk meminimalkan *total maximum spectrum index* untuk semua *link* (C_{total}, yang merepresentasika total penggunaan spektrum). Tujuan selanjutnya adalah untuk meminimalkan jumlah transmitter yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan *traffic* di jaringan (Tt_{total}). Dalam perhitungan *optical traffic grooming* tidak memperhitungkan untuk meminimalkan *C*, $C \geq C_l$ [7], dimana dalam perhitungan [7] tersebut hanya meminimalkan spektrum dalam *link* dengan indeks slot maksimum, bukan indeks slot spektrum untuk semua link. Untuk itu tidak akan didapat penghematan spektrum total dalam jaringan.

3.) Fungsi

a.) Cost Function

$$C_{\text{total}} = \sum_{l} C_l, \quad \forall l \in E, \tag{2.1}$$

$$C_l \geq f_{sd} + \Lambda_{sd} + 2g - 1 - W \times (1 - x_{sdi}), \tag{2.2}$$

$$\forall (s,d), l, p_{sdi} : (p_{sdi} \in P_{sd}) \cap (l \in p_{sdi}), \tag{2.3}$$

$$T_{\text{total}} = \sum_{s,d} T_{sd}.$$

b.)* Fungsi *routing single-path

$$\sum_{p_i \in P_{sd}} x_{sdi} = 1, \quad \forall (s,d). \tag{2.4}$$

c.) Fungsi spektrum non-overlapping

Untuk semua kebutuhan layanan (*s*,*d*) dan (*s',d'*) yang memiliki $p_i \in P_{sd}$ dan $p_j \in P_{s'd'}$, jika p_i dan p_j menggunakan setidaknya 1 link bersama-sama (artinya, $\forall (s,d),(s',d') : \exists l \in p_{sdi} \cap p_{s'd'j} : (l \in p_{sdi}) \cap (l \in p_{s'd'j})$), atau jika $s=s'$ (berarti (*s*,*d*) dan (*s*,*d'*) dapat di gabung (grooming)) fungsi berikut berlaku :

$$\delta^{sd,s'd'} + \delta^{s'd',sd} = 1, \tag{2.5}$$

$$f_{sd} \geq \{ f_{s'd'} + \Lambda_{s'd'} + 2g \times (1 - \delta^{sd,s'd'}) - g, \quad s = s' \cap d \neq d'$$

$$f_{sd} + \Lambda_{sd} + 2g - g, \quad s \neq s' \tag{2.6}$$

$$f_{s'd'} \geq \{ f_{sd} + \Lambda_{sd} + 2g \times (1 - \delta^{s'd',sd}) - g \quad s = s' \cap d \neq d'$$

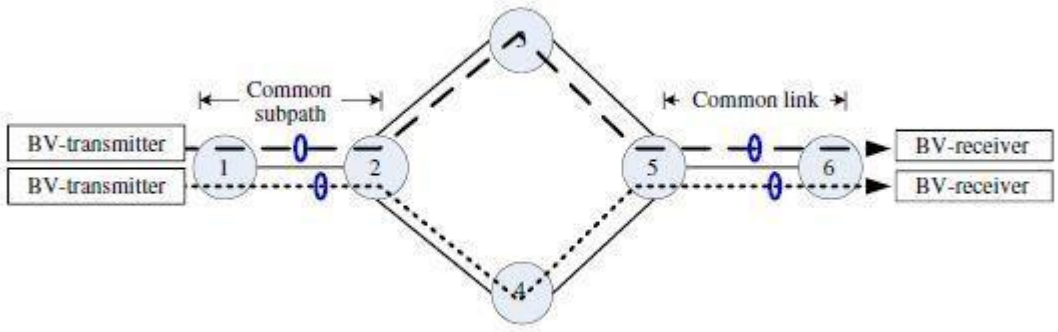
$$f_{sd} + \Lambda_{s'd'} + 2g - g \quad s \neq s' \tag{2.7}$$

Fungsi (5)-(7) untuk memastikan, jika slot spektrum awal f_{sd} dari koneksi *sub-wavelength* (*s*,*d*) pada link *l* lebih besar dari slot awal $f_{s'd'}$ dari koneksi (*s',d'*) dalam link yang sama, lalu $\delta^{sd,s'd'}$ harus bernilai =1, $\delta^{s'd',sd}$ harus bernilai =0, dan f_{sd} harus lebih besar dari $f_{s'd'}$ dengan nilai sama dengan kapasitas (*s',d'*), atau sebaliknya. Fungsi (6) dan (7) memastikan koneksi (*s*,*d*) dan (*s',d'*) dapat digabung, dan tidak memiliki *guardband* diantara spektrum gabungan. Jika

tidak digabung, maka terdapat *guardband* sebesar 2g slot diantara dua spektrum tersebut.

d.) **Fungsi *Grooming***

Jalur koneksi *sub-wavelength* yang berasal dari *source node* yang sama dapat dilakukan grooming (penggabungan spektrum). Jika 2 jalur tersebut dilakukan *grooming* , saat rute 2 jalur tersebut terpisah di node selanjutnya, maka jalur mereka selanjutnya tidak boleh memiliki jalur yang sama, agar tidak terjadi interferensi yang diakibatkan jalur yang lain.



Gambar 1. kasus dimana sub-wavelength dari source node yang sama tidak dapat dilakukan grooming [3].

Gambar 2.4(1) menunjukkan 2 jalur tidak dapat dilakukan *grooming*. Untuk koneksi dengan *source node* yang sama (*s*,*d*) dan (*s*,*d'*) kemudian mempunyai jalur $p_{sdi} \in P_{sd}$ dan $p_{sd'j} \in P_{sd'}$, jika p_{sdi} dan $p_{sd'j}$ tidak memiliki link yang sama yang tidak terdapat pada *subpath* yang sama dari node awal *s*, artinya :

$\forall(\square\square),(\square\square'),\square_{\square} \in P_{sd},\square_{\square'\square} \in \square\square',\square_{\square\square} \in \square_{\square},\square_{\square\square} \in \square_{\square'\square}: \nexists(\square \mid \in \square_{\square\square}) \cap (\square \in \square_{\square'\square}) \cap (\square \notin \square_{\square\square}),$

dan fungsi berikut berlaku :

$$\sum_i \sum_j G_{ij}^{sd,sd'} \le 1, \quad \forall (s,d),(s,d').$$

(2.8)

Fungsi (8) memastikan jika koneksi (*s*,*d*) dan (*s*,*d'*) hanya dapat di *grooming* sekali pada kandidat jalurnya.

$$\square_{\square}^{\square\square'} = \square_{\square}^{\square\square'} \quad (2.9)$$

Fungsi (9) memastikan, jika koneksi (*s*,*d*) di *grooming* dengan (*s*,*d'*), maka koneksi (*s*,*d'*) harus di *grooming* dengan (*s*,*d*).

e.) Fungsi *Optical tunnel* dan hubungan koneksi spektrum

$$\square \le \square \quad \forall(\square\square), \quad (2.10)$$

$$\square + \Lambda_{sd} \le \square + \square \quad \forall(\square\square). \quad (2.11)$$

Fungsi (10) dan (11) memastikan bahwa slot awal dari koneksi *sub-wavelength* harus sama atau lebih besar dari slot awal *optical tunnel* yang membawa koneksi tersebut, dan slot terakhir dari *sub-wavelength* harus lebih kecil atau sama dengan slot akhir maksimal dari *tunnel* yang membawa koneksi tersebut.

$$\square - \square_{\square'} \le W(1 - \square_{\square}^{\square\square'}),$$

$$\square \ne \square', \forall(\square\square),(\square\square'),(\square\square), \quad (2.12)$$

$$\square \ne \square', \forall(\square\square),(\square\square'),(\square\square). \quad (2.13)$$

$$\square - \square \le \square(1 - \square_{\square}^{\square\square'}),$$

Fungsi (12) dan (13) memastikan, jika koneksi (*s*,*d*) dan (*s*,*d'*) dilakukan grooming, maka slot awal dari *tunnel* yang membawanya (*s*,*d*) bernilai sama dengan tunnel yang membawa koneksi (*s*,*d'*).

f.) Fungsi Penggunaan Transmitter

$$M_{sd,sd'} \leq \sum_i \sum_j G_{ij}^{sd,sd'}, \quad (2.14)$$

$$\sum_{d'} M_{sd,sd'} + T_{sd} = 1, \quad (2.15)$$

$$M_{sd,sd'} \leq T_{sd'}, \quad (2.16)$$

$$M_{sd,sd'} - \sum_i \sum_j G_{ij}^{sd,sd'} - T_{sd'} \geq -1. \quad (2.17)$$

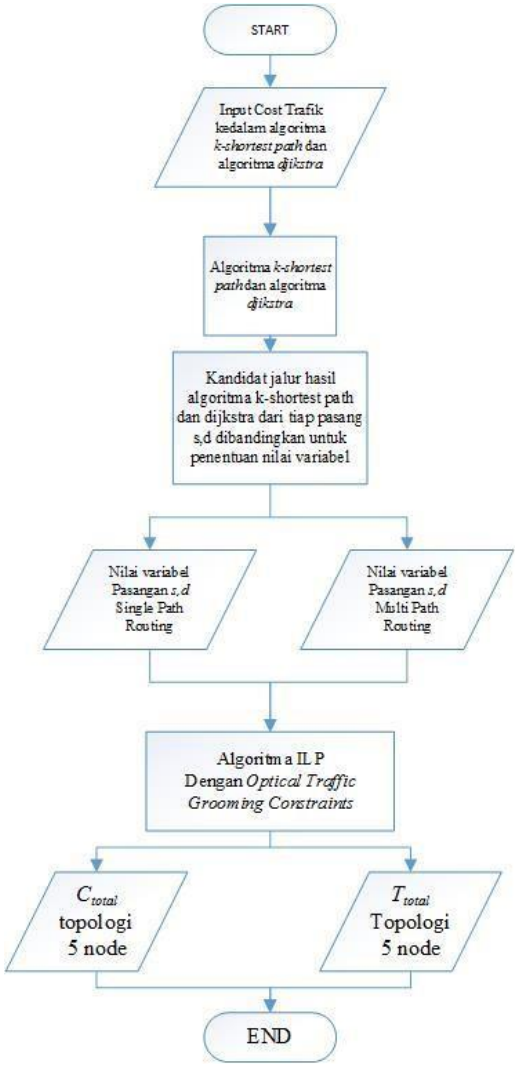
Fungsi (14) memastikan bahwa, jika 2 koneksi dilakukan *grooming* , memungkinkan untuk koneksi (*s*,*d*) menggunakan transmitter yang sama dengan (*s*,*d'*). Fungsi (15) memastikan koneksi (*s*,*d*) dapat menggunakan transmitter sendiri atau memakai transmitter yang sama dengan koneksi *grooming*-nya. Fungsi (16) memastikan, jika koneksi (*s*,*d'*) tidak memakai transmitter sendiri (artinya, $T_{sd'} = 0$, menggunakan transmitter dengan koneksi yang lain), maka $M_{sd,sd'} = 0$, artinya tidak ada koneksi yang dapat menggunakan transmitter (*s*,*d'*). Fungsi (17) memastikan, jika koneksi (*s*,*d'*) menggunakan transmitter sendiri, maka koneksi lain yang di *grooming* dengan koneksi tersebut harus menggunakan transmitter yang sama pula.

3. Pembahasan.

A. Alur Skenario Evaluasi Dan Flow Chart Simulasi

Untuk mengevaluasi performansi dari *optical grooming* digunakan topologi jaringan 5 node dengan Algoritma ILP yang mendukung *optical traffic grooming*. Topologi jaringan merupakan *G = (V,E)*, dimana V adalah node dalam jaringan (yaitu 1,2,3,4,5), dan E adalah pasangan *link* searah {(1,2), (1,3), (1,5), (2,3), (2,5), (3,4), (4,5)}. Kapasitas maksimum dari transmitter yang digunakan dapat menggunakan 16 *Sub-carriers*. Ukuran *guard-band* (2g) diperhitungkan sebesar 2 slot spectrum. Permintaan *traffic* untuk tiap pasang (s,d) dalam jumlah *sub-carrier* di hitung dengan nilai D (4, 6, 8, 10, 12, 16) (D adalah jumlah maksimum *traffic* antara tiap pasang *source* dan *destination*). Nilai D yang berbeda dipilih karena untuk mempelajari hubungan antara efisiensi *grooming* dengan *service granularity*.

Flow chart simulasi jaringan *elastic optical network* untuk wilayah bandung dengan skema 5 node *core network* adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Flow Chart analisis performansi optical traffic grooming dengan mensimulasikan pada jaringan 5 node core network.

Dari flow chart diatas pada saat input cost trafik, semua cost untuk link yang ada atau E, memiliki nilai cost yang sama (dalam simulasi digunakan nilai 4). Selanjutnya untuk mendapatkan kandidat jalur yang diinginkan untuk tiap pasang *s,d* didapatkan dari algoritma *k-shortest path djikstra*, nilai k yang digunakan adalah 4, sehingga untuk tiap pasang *s,d* akan memiliki 4 kandidat jalur. Setelah didapatkan *k-shortest path* untuk tiap pasang *s,d* dilakukan inisialisasi penentuan nilai variabel yang dibutuhkan untuk perhitungan nilai ILP, variabel yang diinisialisasi pada tahap ini adalah (, , x_{sdi} , f_{sd} , dan F_{sd}). Untuk Nilai hasil inisialisasi variabel tersebut kemudian akan

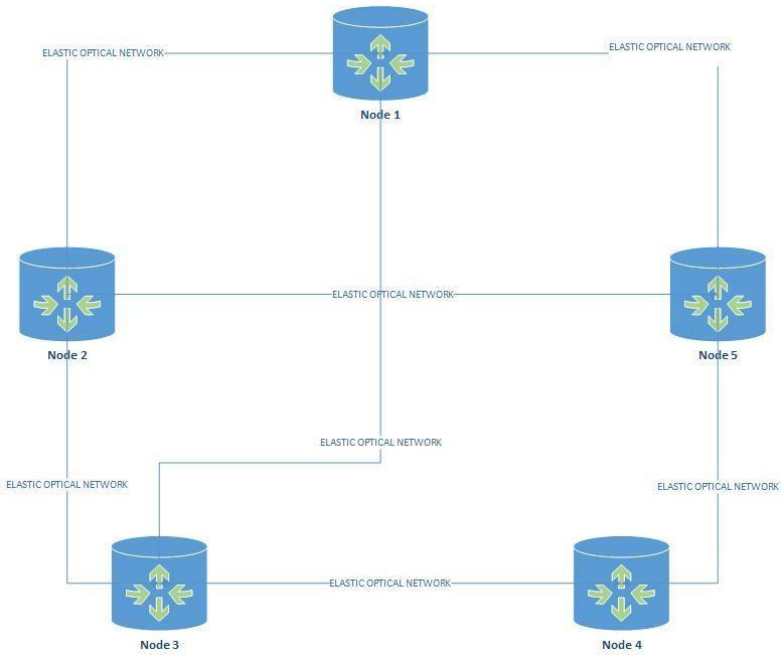
masuk kedalam Algoritma ILP dengan *Optical Traffic Grooming Constraints* untuk mendapatkan hasil minimalisasi C_{total} dan T_{total} . Nilai hasil minimalisasi tersebut didapatkan dengan cara membandingkan tiap *k-shortest path* tiap pasang *s,d* dan disesuaikan dengan *constraint Optical Traffic Grooming.*

B. Konfigurasi Peralatan Dan Desain Model Sistem

Untuk melakukan *optical grooming* pada *elastic optical networks* beberapa peralatan diharuskan memiliki kemampuan yang sesuai. Pertama, semua BV-OXC harus memiliki *broadcast-and-select structure*,yang mana merupakan struktur yang biasa digunakan dalam perangkat ROADM (*reconfigurable optical add-drop multiplexer*).

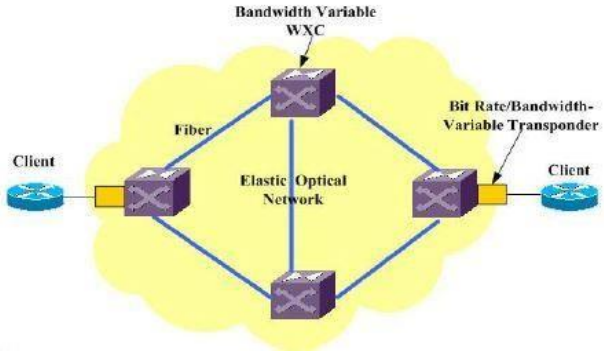
Selanjutnya, perangkat BV-Transmitter harus di desain untuk mendukung multiplexing layanan sub-wavelength, dan dapat dilakukan pendekatan berbeda untuk masing-masing layanan *sub-wavelength*. BV-Transmitter dengan teknologi terbaru ini telah muncul dalam beberapa penelitian, termasuk *multi-flow*, *multi-rate*, dan *multi-reach* transponder [9] dan *bandwidth-scalable coherent transmitter* berbasis sintesis parallel dari beberapa *spectral slices* . [10].

Berikut adalah skema 5 node *core network* yang akan digunakan dalam simulasi :



Gambar 3. skema 5 node untuk core network, dimana antar node terhubung dengan arsitektur Elastic Optical Network.

Untuk hubungan antar node dalam jaringan skema Elasic Optical Network yang digunakan adalah :



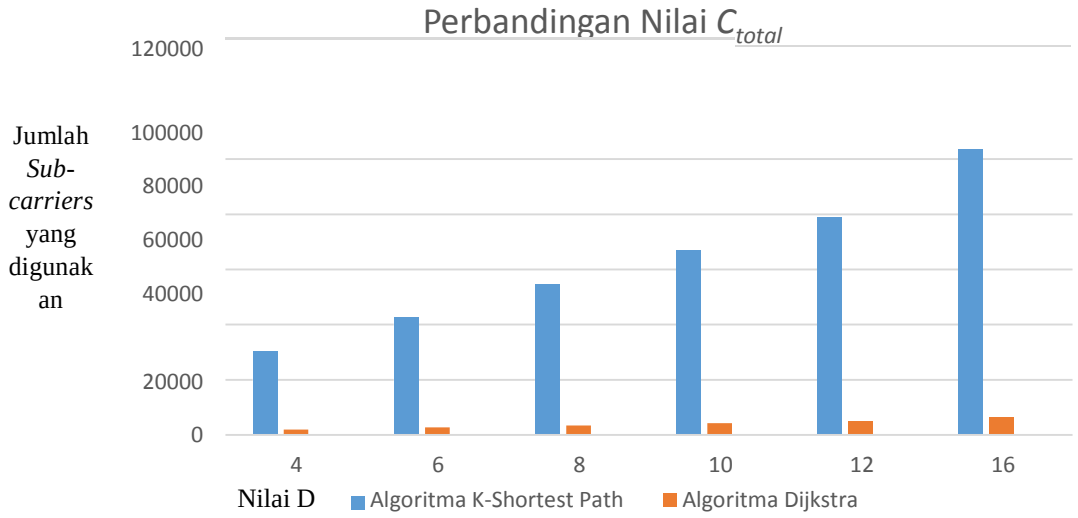
Gambar 4. arsitektur dari elastic optical network yang digunakan untuk hubungan node core [4].

C. Hasil Perhitungan ILP Untuk Minimalisasi nilai C_{total} dan T_{total}

Sebelum masuk pada perhitungan ILP, dilakukan pencarian *Pre Calculated Path* (kandidat jalur routing) untuk tiap pasangan *s,d*. Topologi jaringan merupakan *G = (V,E)*, dimana V adalah node dalam jaringan (yaitu 1,2,3,4,5), dan E adalah pasangan *link* searah {(1,2), (1,3), (1,5), (2,3), (2,5), (3,4), (4,5)}. Pencarian *k-shortest path* untuk semua pasangan node *s,d* dilakukan dengan menggunakan algoritma djikstra *k-shortest path unweighted graph* (yaitu nilai

tiap *link* di set sama) untuk mendapatkan kandidat jalur untuk setiap pasangan *s,d*, dimana banyaknya kandidat jalur yang diperoleh ditentukan oleh nilai k dalam algoritma *k-shortest path*.

Nilai *k* yang digunakan dalam perhitungan *k-shortest path* adalah 4, dan cost untuk tiap link diasumsikan sama (diambil nilai 4) karena diasumsikan kandidat jalur yang diperoleh dari *unweighted graph*. Berikut hasil *pre-calculated path* yang didapat dari algoritma *Djikstra k-shortest path*. Kemudian dilakukan inisialisasi nilai variabel untuk tiap kandidat jalur pasangan *s,d*. Hasil inisialisasi variabel dibutuhkan untuk perbandingan tiap pasang *s,d* dan *s',d'* dengan total 6080 data di tahap perhitungan ILP *optical traffic grooming* untuk mencari nilai minimal C_{total} . Inisialisasi awal pada ILP adalah nilai D adalah kebutuhan jumlah *subcarriers* tiap pasang *s,d* (nilai D random antara [4,6,8,10,12,16]). Lalu nilai W = D × 80, dan nilai U yang merupakan nilai subcarrier maksimal untuk tiap *optical tunnel*, nilai U = 16 dikarenakan tipe modulasi yang digunakan di simulasi ini. Total 6080 data perbandingan di lakukan perhitungan ILP dengan *constraint optical traffic grooming* sebanyak 10 *constraint* untuk minimalisasi total spektrum slot. Berikut hasil perhitungan ILP untuk meminimalisasi nilai C_{total} dari algoritma dijkstra dan algoritma k-shortest path:



Gambar 5. Grafik Nilai Minimum C_{total}

Tabel 2. Tabel Isi Grafik Bar C.

Nilai D	Nilai Ctotal	
	Algoritma K-Shortest Path	Algoritma Dijkstra
4	30400	1900
6	42560	2660
8	54720	3420
10	66880	4180
12	79040	4940
16	103360	6460

Dari Hasil Grafik Diatas, diperoleh nilai minimal C_{total} hasil algoritma k-shortest path untuk 6080 jalur = 30400 dengan nilai D=4, dan untuk nilai minimal C_{total} hasil algoritma dijkstra untuk 380 jalur = 1900 dengan nilai D= 4. Hasil algoritma k-shortest path dipilih sebagai parameter performansi metode *Optical Traffic Grooming* untuk mencari

nilai minimum C_{total} dan T_{total} dikarenakan algoritma tersebut memperhitungkan k- kandidat jalur sesuai kebutuhan, sedangkan dijkstra hanya mengambil kandidat jalur terpendek saja.

Inisialisasi awal pada ILP mencari nilai minimum T_{total} adalah nilai D adalah kebutuhan jumlah *subcarriers* tiap pasang *s,d* (nilai D random antara [4,6,8,10,12,16]). Lalu nilai W = D × 80, dan nilai U yang merupakan nilai subcarrier maksimal untuk tiap *optical tunnel*, nilai U = 16 dikarenakan tipe modulasi yang digunakan di simulasi ini. Total 6080 data perbandingan hasil algoritma k-shortest path dan 380 data hasil algoitma dijkstra di lakukan perhitungan ILP dengan *constraint optical traffic grooming* sebanyak 4 *constraint* untuk penggunaan transmitter. Berikut adalah representasi grafik bar untuk nilai Tt_{otal} :

Gambar 6. Perbandingan Nilai T_{total}

Tabel 3. Tabel Isi Grafik Bar T

Nilai D	Nilai Ttotal	
	Algoritma K-Shortest Path	Algoritma Dijkstra
4	5472	342

Dengan setiap perbandingan data di lakukan perhitungan dengan *constraint* yang ada sesuai dengan penjelasan *constraint* pada bab 2, diperoleh nilai minimal T_{total} untuk 80 jalur adalah 5472 transmitter dengan nilai D = 4, dan menghasilkan penghematan transmitter sebesar 10% dari skema *non-grooming*.

4. Penutup

1. Dari total 20 pasang *s,d* didapatkan kandidat jalur sebanyak 4 untuk tiap pasang *s,d*, dan total data perbandingan untuk inisialisasi nilai variabel dan perhitungan ILP adalah 6080 dan 380 data (hasil algoritma k-shortest path dan dijkstra), masing-masing memiliki nilai-nilai variabel sendiri dan diperhitungkan dalam *constraint Optical Traffic Grooming*.
2. Data yang diambil untuk parameter performansi metode *Optical Traffic Grooming* adalah hasil algoritma k-shortest path sebanyak 6080 data dikarenakan hasil algoritma k-shortest path memperhitungkan setiap kandidat jalur dalam topologi jaringan yang digunakan, sedangkan algoritma dijkstra hanya mengambil kandidat jalur terpendek pertama saja. Dari total perbandingan 6080 data (dengan nilai variabel hasil inisialisasi) , dalam proses ILP *Optical Traffic Grooming* untuk minimalisasi nilai *Ctotal* dengan 10 constraint, seluruh perbandingan data lolos setidaknya 1 nilai constraint sehingga nilai C_l dapat diperhitungkan untuk memperoleh nilai minimum *Ctotal* untuk 6080 pasang *s,d*. Didapatkan nilai minimum C_{total} untuk 6080 data adalah 30400 spektrum slot,
3. Proses ILP *Optical Traffic Grooming* untuk minimalisasi nilai *Ttotal* dengan 4 constraint, sebanyak 608 kandidat jalur *s,d* dan *s',d'* yang memiliki nilai $T_{sd} = 0$ dari hasil proses *constraint* ini, selain kandidat jalur tersebut memiliki nilai $T_{sd} = 1$, sehingga T_{total} dari 6080 pasang kandidat jalur *s,d* adalah 5472.

Daftar Referensi

[1] P. Layec, A. Morea, F. Vacondio, O. Rival and J. C. Antona, "Elastic Optical Networks : The Global Evolution to Software Configurable Optical Networks," 2013.

[2] A. Jean, "OFDM for Optical Communication," *Journal Of Lightwave Technology* , vol. 27, 2009.

[3] G. Zhang, M. D. Leenher and B. Mukherjee, "Optical Traffic Grooming in OFDM-Based Elastic Optical Networks [Invited]," *Optical Communication Network*, vol. 4, 2012.

[4] G. Zhang, M. D. Leenheer, A. Morea and B. Mukherjee, "A Survey on OFDM-based Elastic Core Optical Networking," *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, vol. 15, 2013.

[5] M. Jinno, H. Takara, B. Kozicki, T. Yukio, Y. Sone and S. and Matsuoka, "Spectrum-Efficient and Scalable Elastic Optical Path Networks : Architecture,Benefits,and Enabling Technologies," *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 11, 2009.

[6] S. M. Moreolo, J. M. Fabrega, L. Nadal, F. J. Vichez and G. Junyent, "Bandwidth variable transponders based on OFDM technology for elastic optical network," 2013.

[7] R. Munir, Matematika Diskrit, Bandung: Infomatika, 2012.

[8] K. Christodoulopoulos, I. Tomkos and E. A. Varvarigos, "Routing and Spectrum Allocation in OFDM-based Optical Networks with Elastic Bandwidth Allocation," 2010.

[9] W. Shieh, "OFDM for flexible high-speed optical network," 2011.

[10] T. H., G. T., S. K., P. S. R., H. T., P. L., G. O., P. H. J. and Y. J. S., "Experimental demonstration of 400 Gb/s multi-flow, multi-rate, multi reach optical transmitter for efficient elastic spectral slices," in *OFC/NFOEC*, 2011.

[11] G. J. D., F. K. N., S. P. R., H. T., P. L., G. O., H. P. J. and Y. J. S., "Bandwidth scalable,coherent transmitter based on parallel synthesis of multiple spectral slices," in *Proc. OFC/NFOEC*, 2011.