

Remuz MB Kmurawak^{*1}, Ishak Samuel Beno²

¹. Program Studi Sistem Informasi, Universitas Cenderawasih, Jayapura, Indonesia

². Program Studi Matematika, Universitas Cenderawasih, Jayapura, Indonesia

E-mail: remuz.kmurawak@fmipa.uncen.ac.id

Article Info	Abstract
Article History	<i>Deterministic traffic engineering models bandwidth requirements as a fixed demand, that is, it is not flexible to the random variables that exist within the retail market demand. By providing fixed bandwidth, optimal bandwidth allocation cannot be fulfilled which results in non-optimal revenue. Stochastic traffic engineering settings address the weakness of deterministic traffic engineering because the bandwidth requirement is modelled as a random value probability distribution which is more suitable for modeling bandwidth demand, especially retail, so that optimal income can be fulfilled.</i>
Received:	
24/03/2023	
Revised:	
01/04/2023	<i>This study was carried out using the analytical method by configuring a simulation, which can analyse the stochastic traffic engineering model with risk parameter. The bandwidth demand distribution is then modelled by Gaussian distribution. The result of the analysis shows that the variability factor and risk parameter will affect bandwidth allocation and revenue. The increase of uncertain demand, on the other hand, causes the allocated retail bandwidth capacity to increase by an average of 3.78%. Furthermore, increasing the risk parameters will reduce revenue from retail by 1.63%. Finally, the relationship between income and risk is described by the Efficient Frontier.</i>
Published:	
26/04/2023	
Keywords:	
Stochastic traffic engineering, revenue, risk	

Artikel Info	Abstrak
Sejarah Artikel	Rekayasa trafik deterministik memodelkan permintaan <i>bandwidth</i> sebagai permintaan yang tetap. Permintaan yang bersifat tetap tidak fleksibel terhadap variabel-variabel acak yang ada dalam permintaan dari pasar <i>retail</i> . Dengan penyediaan <i>bandwidth</i> yang tetap maka alokasi <i>bandwidth</i> yang optimal tidak dapat dipenuhi yang berakibat pada pendapatan yang tidak optimal. Pengaturan rekayasa trafik stokastik menjawab kelemahan dari rekayasa trafik deterministik karena permintaan dimodelkan sebagai nilai acak distribusi probabilitas yang lebih sesuai untuk memodelkan permintaan <i>bandwidth</i> khususnya <i>retail</i> . Sehingga pendapatan yang optimal dapat terpenuhi. Pembuatan tesis ini dilakukan dengan metoda analitis dengan pembuatan secara simulasi. Dilakukan analisa terhadap model rekayasa trafik stokastik dengan parameter resiko. Distribusi permintaan <i>bandwidth</i> dimodelkan dengan distribusi Gaussian. Hasil dari analisa menunjukkan bahwa faktor variabilitas dan parameter resiko akan mempengaruhi pengalokasian <i>bandwidth</i> dan pendapatan. Peningkatan ketidakpastian permintaan akan menyebabkan kapasitas <i>bandwidth retail</i> yang dialokasikan, rata-rata bertambah sebesar 3,78%. Peningkatan parameter resiko akan mengurangi pendapatan dari <i>retail</i> sebesar 1,63%. Hubungan antara pendapatan dan resiko digambarkan dengan Efficient Frontier.
Diterima:	
24/03/2023	
Direvisi:	
01/04/2023	
Dipublikasi:	
26/04/2023	
Kata kunci:	
Rekayasa trafik stokastik, pendapatan, risiko	

I. PENDAHULUAN

Harga dan pengalokasian bandwidth merupakan hal yang harus diperhatikan dalam manajemen pendapatan jaringan [1]. Harga menentukan permintaan dan permintaan menghasilkan pendapatan dengan pemenuhan permintaan-permintaan yang ada. Pendapatan diperoleh oleh dengan memberikan layanan trafik permintaan klien dari satu node ke node yang lain. Operator penyedia jasa harus menyesuaikan permintaan-permintaan yang ada dengan sumber daya jaringan yaitu bandwidth yang diperlukan untuk melayani lalu lintas jaringan.

Bandwidth dapat dijual dalam dua segmen yaitu grosir (*wholesale*) dan eceran (*retail*). *Wholesale* merupakan pasar yang menjual *bandwidth* sebagai komoditas. *Retail* merupakan pasar yang menjual *bandwidth* sebagai layanan [2].

Dalam pasar *wholesale* permintaan bersifat tetap dan pasti sehingga tidak tercipta resiko dalam perolehan pendapatan, tetapi harga per unit *bandwidth* rendah. Dalam pasar *retail*, operator penyedia jasa dapat mengenakan harga premium yang lebih tinggi bergantung dari jenis layanan permintaan, tapi permintaan dalam pasar *retail* bersifat random dan tidak pasti, sehingga muncul resiko pendapatan akan menurun [3].

Dengan penyediaan *bandwidth* yang tepat untuk melayani permintaan-permintaan pasar yang ada, baik pasar *wholesale* ataupun *retail*, operator penyedia jasa dapat memaksimalkan rata-rata pendapatan sesuai dengan tingkat resiko yang dapat diterima. Pemaksimalan kombinasi penyediaan dapat dilakukan dengan pengaturan rekayasa trafik yang sesuai.

Pengaturan rekayasa trafik yang ada sebelumnya adalah rekayasa trafik deterministik, dimana pendistribusian *bandwidth* dilakukan dengan pengamatan selama selang waktu tertentu, kemudian diambil nilai rata-rata permintaan tersebut sebagai estimasi penyediaan *bandwidth*.

Rekayasa trafik deterministik memiliki kelemahan karena permintaan dimodelkan tetap maka tidak fleksibel terhadap variabel-variabel acak yang ada dalam permintaan dari pasar *retail*. Dengan penyediaan *bandwidth* yang tetap maka pendapatan tidak dapat dimaksimalkan sesuai dengan permintaan yang ada. Terjadi kemungkinan *bandwidth* yang disediakan tidak optimal melayani permintaan yang ada.

Pengaturan rekayasa trafik stokastik menjawab kelemahan dari rekayasa trafik deterministik karena permintaan dimodelkan

sebagai nilai acak distribusi probabilitas yang lebih sesuai untuk memodelkan permintaan *bandwidth* khususnya *retail* [4]. Rekayasa trafik stokastik dalam tesis digunakan menghitung pendapatan optimal yang hendak dicapai oleh operator penyedia jasa sesuai dengan resiko yang dihadapi.

II. METODE PENELITIAN

A. Rekayasa Trafik

Traffic Engineering adalah proses rekayasa trafik telekomunikasi yang didefinisikan sebagai penerapan teori probabilitas sebagai solusi permasalahan yang terkait dengan perencanaan, evaluasi performa, operasi, dan perawatan suatu sistem telekomunikasi.

Tujuan dari teori *traffic engineering* adalah untuk membuat trafik terukur yang didefinisikan dalam model matematis dan menciptakan hubungan antara kapasitas sistem dan *Grade of Services (GoS)* sehingga dapat digunakan sebagai alat dalam merencanakan dan mendesain suatu jaringan komunikasi.

Rekayasa trafik deterministik menganalisis model permintaan *bandwidth* sebagai jumlah yang tetap dan tidak berubah [2]. Untuk mendapatkan nilai acuan penyediaan *bandwidth*, rekayasa trafik deterministik mengenal dua metoda pendekatan yaitu mean-rate dan worst case scenario [2].

Pendekatan *mean-rate* dilakukan dengan melakukan pengamatan terhadap volume *bandwidth* dalam topologi jaringan selama waktu kurun tertentu. Penyediaan *bandwidth* dilakukan dengan memperhitungkan trafik *bandwidth* selama selang waktu pengamatan. *Bandwidth* yang disediakan merupakan nilai rata-rata volume trafik selama selang waktu pengamatan. Pendekatan mean-rate digunakan pada topologi jaringan dimana volume trafik *bandwidth* tidak terlalu bervariasi.

Pendekatan estimasi volume trafik *bandwidth* yang lebih sederhana adalah dengan menggunakan worst case scenario atau disebut juga dengan peak rate. Pendekatan worst case scenario menyediakan *bandwidth* berdasarkan titik tertinggi (*peak load*) dari volume trafik kemudian di ambil nilai rata-rata dari peak load tersebut. Peak load didapat dari hasil pengamatan selama selang waktu tertentu. Pendekatan *worst case* digunakan pada jaringan yang mempunyai resource *bandwidth* yang tinggi.

Pada pendekatan rekayasa trafik stokastik, permintaan *bandwidth* dimodelkan sebagai nilai acak yang mengikuti distribusi probabilitas [1] [2]

[7]. Pendekatan model ini sesuai dengan sifat permintaan *bandwidth* khususnya permintaan *retail* dimana permintaan *bandwidth* bersifat tidak pasti. Sifat ketidakpastian permintaan ini diakomodir dengan menggunakan pendekatan rekayasa trafik stokastik dimana permintaan *retail* dimodelkan sebagai bilangan acak dalam distribusi probabilitas. Untuk memodelkan permintaan *bandwidth* yang bersifat acak pada rekayasa trafik stokastik digunakan pendekatan *Expectation Maximization (EM)*, dimana dilakukan pembelajaran statistik selama selang waktu tertentu kemudian dilakukan pemodelan distribusi yang sesuai untuk permintaan *bandwidth* [10] [11].

B. Grade of services (GoS) dan Quality of Service (QoS)

QoS adalah efek sekumpulan kinerja layanan yang menentukan tingkat kepuasan pengguna [5]. Parameter QoS lebih menunjukkan persepsi pengguna (*user oriented*) dan dinyatakan oleh istilah-istilah yang tidak menjurus ke teknis jaringan. Menurut Prokcola QoS dapat diklasifikasi menjadi dua yaitu: QoS subjektif dan objektif [16]. QoS Objektif adalah sesuatu dapat diukur dan nyata misalnya *delay*, *jitter*, *throughput*, *packet loss*. Pengukuran objektif dapat dilakukan dengan pengukuran aktif dan pasif yang bertujuan memonitor jaringan untuk mengetahui parameter-parameter jaringan. Sedangkan QoS subjektif lebih kearah yang dirasakan pengguna terhadap kinerja jaringan [16]. Untuk pengukuran QoS subjektif digunakan *Mean Opinion Score (MoS)*. Bila dikaitkan dengan rekayasa trafik stokastik untuk optimasi pendapatan, QoS lebih mengarah kepada jumlah minimum *bandwidth* yang dialokasikan untuk setiap pasangan node agar dapat memenuhi kebutuhan pengguna.

GoS merupakan sejumlah parameter rekayasa trafik sebagai sarana untuk mengukur kelayakan jaringan telekomunikasi pada suatu kondisi [5]. GoS lebih berorientasi ke paramater jaringan. Contoh GoS adalah *probability of blocking*, *probability of delay*, utilisasi link dan lain-lain [5].

C. Resiko

Resiko didefinisikan sebagai pasangan nilai $(x, p(x))$ (dengan paling tidak mempunyai satu nilai $x_i (0 < p(x_i) < 1)$), dan dimana kedua nilai x dan $p(x)$ diketahui.

Dalam rekayasa trafik stokastik khususnya pada permintaan *bandwidth retail*, resiko muncul karena permintaan distribusi dimodelkan sebagai distribusi probabilitas. Yang berarti ada beberapa

kemungkinan permintaan *bandwidth* (x) beserta peluangnya ($p(x)$).

Pengukuran resiko dalam rekayasa trafik stokastik untuk manajemen pendapatan sangatlah penting. Salah satu pengukuran resiko diperkenalkan oleh Markowitz, yang dikenal dengan analisis *Mean - Standar Deviation* [21]. Analisis tersebut telah menjadi alat standar dalam resiko manajemen di bidang finansial. Dalam penelitian "*Portfolio Selection*" yang dipublikasikan pada tahun 1952, Markowitz mengajukan standar deviasi sebagai ukuran resiko. Dalam model *mean-risk*, dua skala diberikan kepada masing-masing variabel acak yaitu nilai ekspektasi (*mean*) dan nilai ukuran resiko (*risk*). Pilihan ditentukan dengan menggunakan *trade-off* antara nilai *mean* yang lebih besar dan *risk* yang lebih kecil.

Kombinasi antara pendapatan dan resiko ini dikemukakan dalam portfolio-portfolio yang disebut dengan *Efficient Frontier*. *Efficient Frontier* memberikan penawaran kombinasi dengan pendapatan yang dapat dihasilkan dengan resiko yang mungkin terjadi.

D. Optimasi

Optimasi merupakan aktivitas untuk mendapatkan hasil yang terbaik dari pilihan yang tersedia. Tujuan dari setiap keputusan adalah untuk meminimumkan usaha yang dilakukan atau memaksimumkan keuntungan yang diperoleh [9]. Usaha atau keuntungan tersebut secara praktek dinyatakan sebagai fungsi dengan variabel keputusan yang akan dicari nilai optimumnya.

Dalam memformulasi persoalan optimasi, langkah pertama adalah menggambarkan secara terinci fungsi tujuan (maksimisasi, atau minimisasi). Variabel terikat dari suatu fungsi merupakan objek maksimisasi atau minimisasi, dan variabel bebas merupakan obyek-obyek yang besarnya dapat diambil dan dipilih oleh unit ekonomi itu dengan tujuan optimasi nilai variabel terikat. Inti dari proses optimasi adalah memperoleh nilai-nilai variabel pilihan (variabel bebas) yang memberikan nilai optimum yang diinginkan fungsi tujuan.

Optimasi dapat berupa optimasi tanpa kendala atau tanpa kekangan (*Unconstrained optimization*) dan optimasi dengan kendala (*Constrained optimization*) [9]. Optimasi tanpa kendala adalah optimasi suatu fungsi tanpa adanya syarat-syarat tertentu yang membatasinya. Jika fungsi tersebut terikat oleh satu atau lebih syarat, maka ini disebut optimasi dengan kendala.

Pada kenyataannya, permasalahan melibatkan optimasi dengan kendala yang tertentu (*Constraint*). Optimasi dengan kendala mempunyai fungsi sasaran atau fungsi tujuan (*objective function*) yang akan dioptimalkan dengan satu atau lebih kendala yang menunjukkan syarat-syarat yang harus dipenuhi. Nilai optimal fungsi tujuan disebut optimum berkendala.

Ditinjau dari jumlah variabel bebas dan kendala dari fungsi sasaran, maka optimasi yang terdapat pada model disebut dengan optimasi dengan dua variabel bebas dan berkendala ganda. Optimasi ini mempunyai dua bentuk yaitu, bentuk *linear* dan bentuk *non-linear*. Model yang dikembangkan oleh Debasis Mitra merupakan model yang berbentuk *non-linear*. Permasalahan *non-linear* terdiri dari dua model yaitu model *convex* dan *concave* [23].

Untuk mencari nilai optimum dari bentuk non-linear, digunakan suatu solusi yang disebut dengan metoda Lagrange [23]. Inti dari metoda Lagrange adalah mengubah persoalan titik ekstrem terkendala menjadi persoalan ekstrem bebas kendala. Fungsi yang terbentuk dari transformasi tersebut disebut dengan fungsi Lagrange.

E. Model Rekayasa Trafik Stokastik

Model rekayasa trafik stokastik yang digunakan adalah model yang dipublikasikan oleh Debasis Mitra dan Qiong Wang dalam penelitiannya yang berjudul “*Stokastik Trafik Engineering for Demand Uncertainty and Risk-Aware Network Revenue Management*” [4].

Jaringan dimodelkan sebagai kumpulan dari *node* dan *link* (L, N) di mana *link* tersebut mempunyai *bandwidth* C_l . $V = f(v_i, v_j) : v_i \in N, v_j \in Ng$ merupakan set dari semua pasangan *node* di mana $V_1 \subset V$ merupakan set pasangan *node* untuk permintaan *retail* dan $V_2 \subset V$ merupakan set pasangan *node* untuk permintaan *wholesale*.

Permintaan *retail* antara $v \in V_1$ dikarakteristikan dengan distribusi probabilitas, yaitu *Probability Density Function* (PDF) yang dinotasikan dengan $f_v(x)$ dan *Cummulative Distribution Function* (CDF) yang dinotasikan dengan $F_v(x)$. Sedangkan jumlah kapasitas yang disediakan untuk melayani permintaan *retail* antara v dinotasikan dengan $d_v (v \in V_1)$. Notasi *admissible route* untuk $v \in V_1$ adalah $R_1(v)$ dan misalkan $\gg_r (r \in R_1(v))$ sebagai jumlah kapasitas yang harus disediakan pada *route* r , maka

$$d_v = \sum_{r \in R_1(v)} \gg_r \quad (1)$$

Misalkan T_v menunjukkan permintaan *retail* random antar pasangan *node* v , sehingga

$$x_v(d_v) = \min(T_v, d_v) \quad (2)$$

Pendapatan yang diperoleh berdasar x_v yaitu berdasarkan yang dibawa saja, bukan yang disediakan. Misalkan $m_v(d_v)$ dan $s_v^2(d_v)$ adalah *mean* dan *variance* dari x_v , maka dihasilkan

$$m_v(d_v) = \int_0^{d_v} x f_v(x) dx + d_v \bar{F}_v(d_v) = \int_0^{d_v} \bar{F}_v(x) dx \quad (3)$$

$$s_v^2(d_v) = \int_0^{d_v} x^2 f_v(x) dx + d_v^2 \bar{F}_v(d_v) - m_v^2(d_v) = 2 \int_0^{d_v} x \bar{F}_v(x) dx - m_v^2(d_v)$$

Misalkan π_v merupakan pendapatan yang diperoleh untuk setiap unit trafik *retail* yang dibawah antara v maka jumlah pendapatan yang diperoleh dalam melayani permintaan *retail* antara v merupakan nilai acak $\pi_v x_v(d_v)$ dimana rata-ratanya adalah $\pi_v m_v(d_v)$ dan $\pi_v s_v^2(d_v)$ merupakan variannya.

Misalkan y_v merupakan jumlah *bandwidth* yang disediakan untuk permintaan *wholesale* antara $v \in V_2$ maka

$$y_v = \sum_{r \in R_2(v)} \phi_r \quad (4)$$

Dimana $R_2(v)$ merupakan set *admissible route* untuk $v \in V_2$ dan ϕ_r merupakan jumlah *bandwidth* yang disediakan untuk route r untuk membawa *bandwidth wholesale*. e_v merupakan harga *wholesale* antara pasangan *node* v sehingga pendapatan *wholesale* adalah $e_v y_v$.

Admissible route menunjukkan bahwa permintaan trafik hanya dapat dilewatkan melalui jalur tertentu. *Admissible route* yang dipakai adalah jalur terpendek yang ditunjukkan dengan *hop minimum*.

Total pendapatan yang didapat adalah jumlah total dari pendapatan *retail* dan pendapatan *wholesale* diperoleh maka

$$W = \sum_{v \in V_1} \pi_v x_v + \sum_{v \in V_2} e_v y_v \quad (5)$$

Resiko dimodelkan dengan standar deviasi dari permintaan *retail* yaitu $\sqrt{\text{Var}(W)}$. Sehingga fungsi objektif yang ingin dioptimasi menjadi

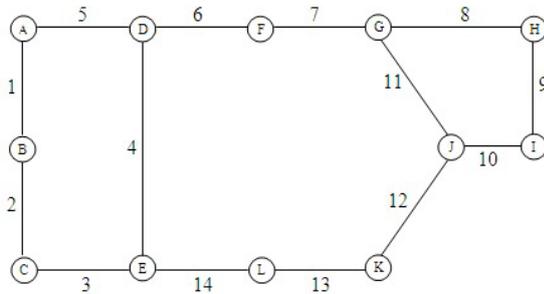
$$\max \theta(d_v, y_v, \lambda_r, \phi_r) = \sum_{v \in V_1} \pi_v m_v + \sum_{v \in V_2} e_v y_v - \delta \sqrt{\sum_{v \in V_1} \pi_v^2 s_v^2} \quad (6)$$

dengan konstrain :

$$\begin{aligned} \sum_{r \in R_1(v)} \lambda_r &= d_v \quad (v \in V_1) \\ \sum_{r \in R_2(v)} \phi_r &= y_v \quad (v \in V_2) \\ \sum_{r \in R_1(v)} \lambda_r + \sum_{r \in R_2(v)} \phi_r &\leq C_l \\ 0 &\leq d_v \leq \bar{d}_v \quad (v \in V_1) \\ 0 &\leq y_v \quad (v \in V_2) \\ 0 &\leq \lambda_r \quad (r \in R_1(v)) \end{aligned}$$

F. Topologi Jaringan

Topologi jaringan terdiri dari 12 titik *node* dan 14 *link bidirectional*. Permintaan *retail* diasumsikan simetrik dalam dua arah untuk setiap pasang *node*. Permintaan *retail* merupakan fungsi distribusi Gaussian. Parameter σ_v merupakan standar deviasi dari v yang menunjukkan penyebaran atau dispersi v dari nilai rata-rata. Semakin besar nilai σ_v menunjukkan semakin besar penyebaran nilai dari rata-rata v . μ_v dan σ_v menunjukkan rata-rata dan standar deviasi dari permintaan sedangkan m_v dan s_v menunjukkan rata-rata dan standar deviasi dari *bandwidth* yang dialokasikan.



Gambar 1. Topologi Jaringan.

Setiap *link* memiliki kapasitas 150 unit, kecuali *link* 6,7,12,13, dan 14 yang memiliki 200 unit. *Link* 6,7,12,13 dan 14 memiliki kapasitas yang lebih besar karena diasumsikan membawa trafik yang lebih besar karena berada di posisi sentral. Berdasarkan topologi jaringan, maka akan terdapat 66 jumlah kemungkinan permintaan. Terdapat 66 kemungkinan permintaan dimana pasangan *node* tersebut bersifat *bidirectional* yang artinya pasangan *node* $AB = BA$.

Seperti yang diuraikan sebelumnya *hop* minimum didefinisikan sebagai h_v . Sebagai contoh, bila suatu permintaan dinyatakan oleh

pasangan *node* DJ maka trafik dapat dilewatkan melalui dua jalur alternatif yaitu D-F-G-J atau D-E-L-K-J.

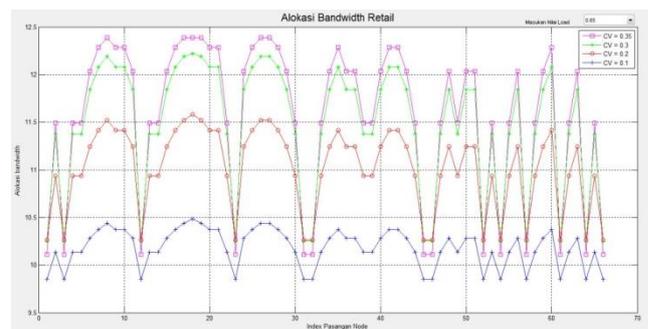
Total minimum hop dari seluruh permintaan adalah 176. Jumlah minimum *hop* digunakan untuk menghitung *load factor* (ρ). Total kapasitas *link* adalah jumlah dari *bandwidth* yang disediakan untuk masing-masing *link*. Total kapasitas *link* sebesar $\sum_{l \in L} C_l = 9 \times 150 + 5 \times 200 = 2350$.

Unit harga untuk membawa permintaan *retail* (π_v) sebanding dengan jarak antara *node* asal dan *node* tujuan, dimana jarak antara pasangan *node* diukur dengan h_v . Permintaan *wholesale* memiliki kepastian daripada *retail* karena itu harga *wholesale* lebih murah daripada *retail* yaitu 10% dari harga *retail* ($0,1\pi_v$).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

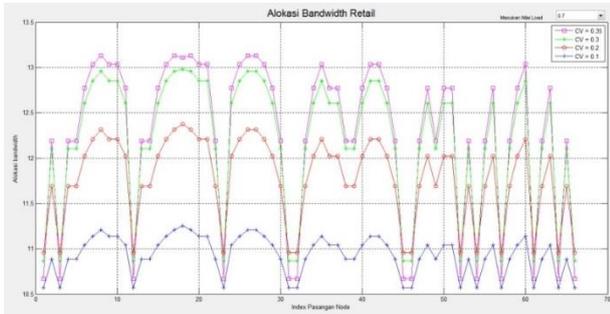
A. Implikasi Variabilitas Permintaan

Nilai parameter index (δ) diberikan sebesar 0,5. semakin besar koefisien variasi permintaan *retail* antara $v \in V_1$ maka *bandwidth* yang harus disediakan menjadi lebih besar untuk mengakomodasikan permintaan. Selain itu, terlihat bahwa pada indeks pasangan *node* dimana semakin tinggi koefisien variasi maka *range* nilai minimum dan maksimum juga semakin besar. Hal ini disebabkan operator ingin mengoptimasi alokasi *bandwidth* tanpa membuat konsumen kekurangan *bandwidth* yang direfleksikan nilai *bandwidth* yang lebih tinggi dari μ_v yang sebesar 8,7. Jadi nilai pengalokasian *bandwidth* harus lebih besar dari nilai *mean*, namun bila koefisien variasi tersebut semakin tinggi maka model akan mengalokasikan *bandwidth* dengan *range* lebih besar untuk memfasilitasi variabilitas permintaan yang lebih besar. Kapasitas *bandwidth* yang disediakan pada setiap permintaan juga tergantung pada jumlah minimum *hop* (h_v). Semakin banyak jumlah *hop* menunjukkan kapasitas *bandwidth* yang harus disediakan juga semakin besar.



Gambar 2. *Bandwidth* yang disediakan dengan rata-rata 8,7.

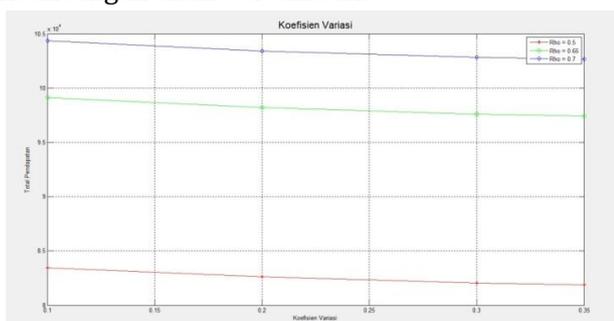
Untuk pengalokasian *bandwidth wholesale*, karena tidak ada variabilitas dari permintaan maka alokasi tersebut bersifat tetap, tergantung dari kapasitas total tetap yang ada. Kebijakan yang diambil adalah alokasi *bandwidth wholesale* mengikuti perubahan dari alokasi *bandwidth retail* dengan asumsi bahwa kapasitas total *bandwidth* yang disediakan tidak berubah. Hal ini terlihat dari model rekayasa trafik stokastik.



Gambar 3. Bandwidth yang disediakan dengan rata-rata 9,4

Ketika rata-rata permintaan bertambah maka *bandwidth* yang dialokasikan juga meningkat seiring dengan μ_v . Ketika CV bertambah yang menunjukkan variansi permintaan bertambah, maka dialokasikan *bandwidth* yang lebih untuk mengakomodir permintaan. Dengan rata-rata permintaan setiap pasangan *node* = 19 maka akan paling sedikit $66 \times 9,4 = 620$ kapasitas yang digunakan untuk *bandwidth retail*. Jumlah ini merupakan 26% dari total kapasitas keseluruhan sebesar 2350.

Nilai *load factor* yang berbeda juga akan mempengaruhi perolehan pendapatan, semakin tinggi nilai *load factor* semakin tinggi pula pendapatan yang akan diperoleh. Hal ini dikarenakan *load factor* menunjukkan total permintaan *bandwidth* dibandingkan dengan total keseluruhan kapasitas *bandwidth*, yang berarti bila *load factor* tinggi permintaan juga semakin besar yang mengakibatkan pengalokasian *bandwidth* semakin besar sehingga keuntungan akan bertambah.



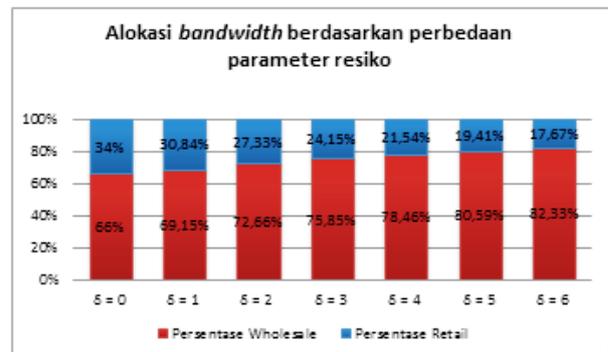
Gambar 4. Dampak koefisien variasi untuk pendapatan.

Implikasi lain dari meningkatnya variabilitas *bandwidth* adalah mengurangi utilisasi *link*. Utilisasi *link* merupakan perbandingan total rata-rata *bandwidth* yang dibawa pada *link* dengan *bandwidth* yang disediakan pada *link* tersebut.

Semakin tinggi koefisien variasi menyebabkan *bandwidth* yang disediakan tidak sepenuhnya digunakan. Utilisasi rendah untuk pihak operator bukanlah yang hal baik karena menunjukkan jumlah kapasitas yang terjual lebih sedikit daripada kapasitas yang disediakan yang berarti pendapatan juga akan berkurang. Ketika variabilitas permintaan meningkat *bandwidth* yang disediakan untuk membawa permintaan *retail* digunakan kurang efisien dan *bandwidth* yang disediakan untuk *wholesale* akan berkurang. Oleh karena itu, tidak mengherankan bila pendapatan akan menurun seiring dengan bertambahnya variabilitas permintaan.

G. Implikasi Variabilitas Permintaan

Untuk mengetahui dampak dari parameter resiko, koefisien variasi diatur pada nilai 0,35. Parameter jaringan yang lainnya diatur tetap seperti kasus diatas dan parameter resiko dirubah-rubah.



Gambar 5. Persentase perbandingan alokasi bandwidth.

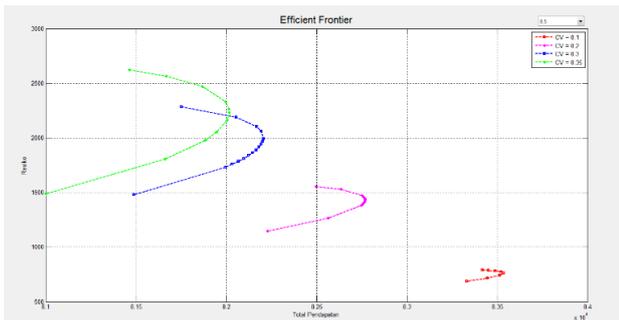
Dampak dari hal tersebut adalah *bandwidth* yang dialokasikan untuk *retail* lebih besar yaitu 34% dari keseluruhan *bandwidth*. Perlu diingat bahwa alokasi *bandwidth* untuk *retail* dipengaruhi oleh *mean* dan varian dari distribusi permintaan sehingga tidak mungkin dan efektif bila seluruh *bandwidth* yang ada dialokasikan untuk *retail* karena yang dipakai hanya berkisar di *mean*-nya. Semakin tinggi parameter resiko maka *bandwidth* yang dialokasikan untuk *retail* akan semakin rendah. Pada parameter resiko sebesar 6, alokasi *bandwidth* untuk *retail* akan sebesar 17,57% dari *bandwidth* keseluruhan sedangkan *bandwidth* untuk *wholesale* sebesar 82,33%.

Semakin besar alokasi untuk *bandwidth retail* maka menyebabkan pendapatan akan berkurang tetapi kepastian untuk mendapatkan pendapatan tersebut akan meningkat.



Gambar 6. Persentase perbandingan pendapatan *bandwidth*.

Efficient Frontier merupakan kumpulan portfolio antara pendapatan dan resiko. Dari Efficient Frontier tersebut dapat diketahui titik maksimum dimana pendapatan tersebut paling besar. Namun pendapatan besar tersebut disertai resiko yang besar pula. Yang perlu diperhatikan adalah titik-titik dimana pendapatan tidak lagi linier dengan resiko.



Gambar 7. Efficient Frontier.

IV. Kesimpulan

Hasil perhitungan dan simulasi menunjukkan bahwa adanya faktor ketidakpastian mengakibatkan penurunan pendapatan. Berdasarkan hasil perhitungan pada $\delta = 0,5$ serta $CV = 0,1$; $CV = 0,2$; $CV = 0,3$ dan $CV = 0,35$, pendapatan akan menurun rata-rata sebesar 0,97%. Sedangkan kapasitas *bandwidth retail* yang dialokasikan, rata-rata bertambah sebesar 3,78% sedangkan kapasitas *bandwidth wholesale* akan berkurang sebesar 3,78%. Utilisasi link mengalami penurunan sebesar 5,5 %. Sedangkan peningkatan parameter resiko (δ), menyebabkan pendapatan akan berkurang 1,63% sedangkan pendapatan *wholesale* berkurang sebesar 1,63%. Sedangkan alokasi *bandwidth retail* akan berkurang sebesar 3,27% dari total kapasitas alokasi *bandwidth*. Hal ini menunjukkan

keinginan operator untuk mendapatkan kepastian dalam pendapatan dengan menyediakan *bandwidth* yang lebih untuk *wholesale*.

Efek dari toleransi operator kepada resiko diringkaskan oleh *Efficient Frontier* yang didapat dari penyelesaian model rekayasa trafik stokastik untuk berbagai variasi δ . Solusi yang dihasilkan adalah pareto optimal yang berarti meningkatnya pendapatan akan disertai pula dengan meningkatnya resiko. Fitur penting adalah pada lengkungan kurva *Efficient Frontier* dimana resiko dengan pendapatan tidak lagi linier. Bagian terpenting adalah mengetahui posisi lengkungan tersebut dikarenakan titik lengkungan bervariasi kecil antara 1% - 2%.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Mitra, D. and Wang, Q., "Risk-aware network profit management in a two-tier market". In *Teletraffic Science and Engineering*, Vol. 5, pp. 1051-1060).
- [2] Koonlachat, Meesublak, "Network Design Under Demand Uncertainty", Disertasi Doktorat, 2007, Uni. of Pittsburgh, http://d-scholarship.pitt.edu/7593/1/dissertation_meesublak.pdf, diakses pada 14 Januari 2023 pk. 19.00.
- [3] Mitra, D. and Wang, Q., "Stochastic traffic engineering, with applications to network revenue management", In *IEEE INFOCOM 2003, Twenty-second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (IEEE Cat. No. 03CH37428)*, 2003, vol. 1, pp. 396-405, IEEE.
- [4] Mitra, D. and Wang, Q., 2005. "Stochastic traffic engineering for demand uncertainty and risk-aware network revenue management", *IEEE/ACM Transactions on networking*, 2005, vol. 13, no. 2, pp.221-233.
- [5] V.B., Iversen, "Teletraffic Engineering And Network Planning", Tech. University Of Denmark, 2015, https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/118473571/Teletraffic_34342_V_B_Iversen_2015.pdf, diakses pada 8 Oktober 2022 pk. 15.00.

- [6] Zukerman, M., "Introduction to queueing theory and stochastic teletraffic models", 2013, *arXiv preprint arXiv:1307.2968*.
- [7] Liebeherr, Jorg, "A Statistical Network Calculus for Computer Networks", 2005 <https://www.comm.utoronto.ca/~jorg/archive/talks/Tutorial-Liebeherr-ITC27.pdf>, diunduh pada 2 April 2023 pk. 12.00.
- [8] Wu, J., "Stochastic traffic engineering design and optimization for multimedia communication networks". 2005, *IEICE Technical Report*, vol. 104, no. 564, pp. 19-24.
- [9] Papoulis, A., Unnikrishna Pillai, S., "Probability, Random Variables and Stochastic Processes", 4th Edition. 2002, McGraw-Hill: Boston. ISBN 0-07-366011-6.
- [10] Medina, A., Taft, N., Salamatian, K., Bhattacharyya, S., & Diot, C., "Traffic matrix estimation: Existing techniques and new directions". 2002, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 32, no. 4, pp. 161-174.
- [11] Fukuda, K., "Towards modeling of traffic demand of node in large scale network". In *2008 IEEE International Conference on Communications*, 2008, pp. 214-218, IEEE.
- [12] Paxson, V., & Floyd, S., "Wide area traffic: the failure of Poisson modelling", 1995, *IEEE/ACM Transactions on networking*, vol. 3, no. 3, pp. 226-244.
- [13] Telkamp, T., "Traffic characteristics and network planning", 2002, *Nanog 26 Meeting Presentation*, <http://www.nanog.net/meetings/nanog26/presentations/telkamp.pdf>, diakses pada 26 Februari 2023 pk. 13.20.
- [14] Kilpi, J., & Norros, I., "Testing the Gaussian approximation of aggregate traffic", 2002, *In Proceedings of the 2nd ACM SIGCOMM Workshop on Internet measurement*, pp. 49-61).
- [15] Van De Meent, R., Mandjes, M., & Pras, A., "Gaussian traffic everywhere?", 2006, *IEEE International Conference on Communications*, vol. 2, pp. 573-578, IEEE.
- [16] Zseby, T., & Schreiner, F., "QoS Monitoring and Measurement Benchmarking", 2002, *NGN Initiative*, <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=da9627454ccf4061f0bcc66a8de3d53cde1eeea8>, diakses pada 26 April 2023 pk. 00.58.
- [17] Levy, H., & Robinson, M., "Stochastic dominance: Investment decision making under uncertainty", 2006, Vol. 34. New York: Springer.
- [18] Li, J. S. H., & Hardy, M. R., "Measuring basis risk in longevity hedges", 2011, *North American Actuarial Journal*, vol. 15, no. 2, pp. 177-200.
- [19] Dempster, M. A. H. Ed., "Risk management: value at risk and beyond", 2002, Cambridge University Press.