



InComTech: Jurnal Telekomunikasi dan Komputer
vol.15, no.01, April 2025, 32-40
<http://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/Incomtech>
P-ISSN: 2085-4811 E-ISSN: 2579-6089

Implementasi Layanan *Broadband Network Gateway* Dengan Mengoptimalkan Perangkat *Metro Ethernet* Menggunakan Metode BGP, VPRN, dan *Subscriber Management (BVSM)*

Hans Mochammad Zein, Ahmad Firdausi*

*Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana,
Jl. Meruya Selatan, Jakarta 11650, Indonesia*
*ahmad.firdausi@mercubuana.ac.id

Abstrak:

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi perangkat router Metro Ethernet Nokia 7750 SR-7 dalam menyediakan layanan Broadband Network Gateway (BNG) dengan mengimplementasikan metode Border Gateway Protocol (BGP), Virtual Private Routed Network (VPRN), dan Subscriber Management (BVSM). Pendekatan ini berhasil menunjukkan bahwa Metro Ethernet mampu mengelola pelanggan secara efisien melalui transisi layanan dari Layer 2 (VPLS) ke Layer 3 (VPRN), tanpa memerlukan perubahan besar pada infrastruktur jaringan yang sudah ada. Konfigurasi tambahan seperti *policy-option*, *local DHCP server*, dan *subscriber interface* pada service VPRN mendukung pengalokasian IP pool, monitoring sesi pengguna, serta pemulihan gangguan layanan secara lebih cepat. Evaluasi implementasi menunjukkan bahwa metode ini tidak hanya meningkatkan efisiensi jaringan dan menyederhanakan proses operasional, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada perangkat BRAS yang selama ini menjadi titik kegagalan potensial. Dengan memusatkan fungsi BNG langsung di perangkat Metro Ethernet, layanan dapat dikelola secara lebih fleksibel dan ekonomis, sekaligus meningkatkan kualitas pengalaman pelanggan. Temuan ini membuka peluang bagi pengembangan lebih lanjut menuju integrasi BNG dengan platform orkestrasi berbasis Software Defined Networking (SDN) di masa mendatang.

This is an open access article under the [CC BY-NC](#) license



Kata Kunci:

*Broadband Network Gateway;
Metro Ethernet;
BVSM;
Efisiensi Jaringan;*

Riwayat Artikel:

Diserahkan 05 Februari, 2024
Direvisi 29 April, 2025
Diterima 02 Mei 2025

DOI:

10.22441/incomtech.v15i1.25594

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pesat dalam industri telekomunikasi telah menghasilkan peningkatan signifikan dalam permintaan akan layanan jaringan internet yang andal dan berkualitas tinggi. Pelanggan mengharapkan konektivitas yang stabil dan aman, serta layanan yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik mereka. Dalam rangka mengatasi tantangan ini, penyedia layanan telekomunikasi terus berupaya mengembangkan solusi jaringan yang inovatif dan efisien. Teknologi yang dapat memenuhi kebutuhan akses internet cepat tersebut salah satunya adalah *Multi Protocol Label Switching* (MPLS), MPLS memiliki prinsip operasi berbasis pertukaran label, dengan prinsip operasi pertukaran label membuat MPLS memiliki kemampuan paket forwarding yang cepat. Sedangkan untuk memberikan akses jaringan internet yang aman dapat dipenuhi dengan teknologi *Virtual Private Network* (VPN). VPN memberikan layanan yang terisolasi dan aman kepada berbagai pelanggan, memungkinkan pelanggan untuk menghubungkan lokasi yang terpisah secara geografis dan mengamankan lalu lintas data yang melewati jaringan public [1]. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, perangkat *metro ethernet* yang dapat berfungsi sebagai transport *service layer 2* VPN (L2VPN) memberikan solusi jaringan data berkapasitas tinggi yang memiliki fleksibilitas, keamanan dan kualitas layanan kepada pelanggan [2].

Pada penelitian ini, perangkat *metro ethernet* yang digunakan yaitu Nokia 7750 SR-7 memiliki dua *service L2VPN* yaitu VPLS (*Virtual Private LAN Service*) yang mendukung koneksi *multipoint* dan VPWS (*Virtual Private Wire Service*) yang mendukung koneksi *point-to-point* [3]. Selain itu, perangkat *metro ethernet* juga dapat mendukung *service layer 3* VPN (L3VPN), yaitu VPRN (*Virtual Private Routed Network*) yang merupakan layanan VPN *multipoint-to-multipoint layer 3* yang memanfaatkan penyedia layanan jaringan IP/MPLS untuk menghubungkan beberapa cabang dalam satu arsitektur yang dirutekan secara logis. Sebuah jaringan penyedia layanan yang menggunakan IP/MPLS dapat menghubungkan beberapa situs pelanggan menggunakan *service VPRN*. Oleh karena itu, situs pelanggan tersebut tampaknya terhubung ke *router* dari sudut pandang pelanggan [4]. VPRN menggunakan *routing protocol BGP* (*Border Gateway Protocol*) untuk meneruskan paket VPN dan mempublikasikan rute VPN pada jaringan *backbone*. Kemudian untuk mengatasi masalah *overlapping VPN address* antara VPN yang berbeda, isolasi perutean diperlukan untuk mengkonfigurasi VRF (*VPN Routing Forwarding Instance*) [5].

Di sisi lain, *Broadband Network Gateway* (BNG) adalah elemen penting dalam jaringan akses *broadband*. BNG berfungsi sebagai titik masuk utama bagi pelanggan yang ingin mengakses layanan internet [6]. Dalam pengaturan tradisional, BNG berfungsi sebagai perangkat edge yang juga bertindak sebagai Provider Edge (PE) yang diakomodasi oleh perangkat *Broadband Remote Access Server* (BRAS), yang memiliki fungsi untuk mengelola *subscribers' sessions*, *accounting*, dan penentuan *policies* terhadap pelanggan [7]. Kemudian perkembangan teknologi telah mendorong pergeseran dalam arsitektur jaringan, dan ada kebutuhan untuk mengevaluasi alternatif yang lebih efisien. Perangkat *metro ethernet* Nokia 7750 SR-7 kini dapat menyediakan layanan BNG dengan memanfaatkan *service VPRN* [8], dengan begitu penggunaan perangkat BRAS dalam jaringan *broadband* dapat digantikan. Permintaan yang terus meningkat akan

optimasi jaringan broadband telah ditangani dalam beberapa studi terbaru yang berfokus pada integrasi teknologi BGP dan VPRN untuk layanan Broadband Network Gateway (BNG). [9] meneliti mekanisme penyaringan pembaruan dalam jaringan EVPN VXLAN berbasis BGP untuk meningkatkan efisiensi pertukaran rute. [10] membahas implementasi praktis Broadband Internet Gateway menggunakan teknologi Carrier Ethernet untuk mencapai efisiensi operasional. Selain itu, [11] menerapkan kontrol plane berbasis BGP dalam jaringan seluler pribadi dengan memanfaatkan EVPN, dan [12] menyoroti tren meningkatnya adopsi BGP EVPN dalam implementasi jaringan Metro Ethernet.

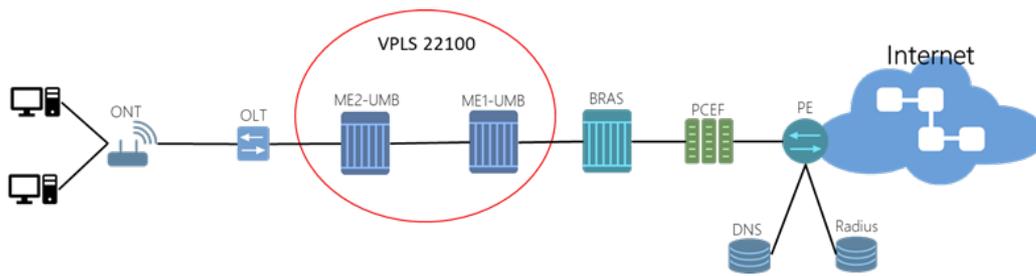
Penelitian ini bertujuan untuk mewujudkan kemampuan perangkat *metro ethernet* Nokia 7750 SR-7 dalam mengimplementasikan layanan BNG menggunakan metode BVSM (BGP, VPRN, *Subscriber-Management*) sehingga dapat menggantikan fungsi perangkat BRAS dalam mengelola *subscribers*. Hal ini dapat menghasilkan peningkatan efisiensi jaringan, manajemen pelanggan, dan kualitas layanan. Serta memberikan kontribusi dengan menghadirkan implementasi sistem layanan *Broadband Network Gateway* (BNG) pada perangkat *metro-ethernet* melalui metode BGP, VPRN, dan *Subscriber-Management* (BVSM). Kontribusi utama melibatkan pengembangan solusi yang dapat meningkatkan efisiensi jaringan, memastikan optimalitas perangkat *metro ethernet* dalam menyediakan layanan BNG sehingga dapat menggantikan fungsi perangkat BRAS, dan mengevaluasi potensi keuntungan dalam hal efisiensi jaringan, manajemen pelanggan, dan kualitas layanan.

2. METODE

Implementasi layanan *Broadband Network Gateway* (BNG) pada perangkat *metro ethernet* memanfaatkan *service* L3VPN VPRN dimulai dari studi literatur, desain diagram alur, desain jaringan *layer 2* dan *layer 3*, kemudian menentukan parameter tambahan untuk dikonfigurasi pada *service* VPRN. Setelah itu melakukan penyetelan manajemen yang bisa dilakukan perangkat *metro ethernet* terkait *user* yang terhubung ke layanan BNG.

Service layer 2 yang diimplementasikan menggunakan *service* VPLS sebagai kondisi *existing* peran perangkat *metro ethernet* sebagai *transport* data *layer 2*. Kemudian *service layer 3* yang diimplementasikan menggunakan *service* VPRN sebagai pondasi dalam penelitian untuk implementasi layanan BNG di perangkat *metro ethernet*. Fokus penelitian ada pada penentuan parameter tambahan yang perlu dikonfigurasi pada *service* VPRN supaya perangkat *metro ethernet* dapat menjalankan layanan BNG, kemudian melakukan penyetelan manajemen apa saja yang dapat dilakukan oleh perangkat *metro ethernet* setelah layanan BNG berhasil dijalankan.

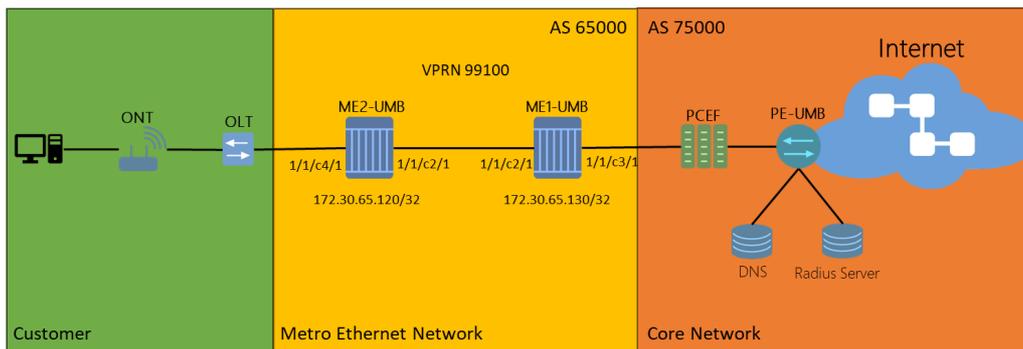
2.1 Topologi *Service Layer 2*



Gambar 1. Topologi *Service VPLS Metro Ethernet*

Penelitian yang dilakukan akan berfokus pada implementasi layanan BNG pada *metro ethernet* sebagai pengganti fungsi dari perangkat BRAS yaitu salah satunya untuk pengelolaan pelanggan seperti menyediakan *IP address* ke pelanggan. Pada kondisi *existing*, perangkat *metro ethernet* hanya berfungsi sebagai *transport layer 2 (data-link)* atau *mac-address* pelanggan ke arah PE dalam layanan *broadband*. Perangkat *metro ethernet* menggunakan *service VPLS* yang berjalan pada jaringan MPLS untuk menjalankan fungsi *transport layer 2* tersebut.

2.2. Topologi *Service Layer 3*



Gambar 2. Topologi *Service VPRN Layanan BNG Metro Ethernet*

Implementasi layanan BNG pada jaringan *metro ethernet* terdapat perubahan desain dari topologi sebelumnya, yaitu dengan memanfaatkan *routing protocol BGP*, *service VPRN* dan *Subscriber Management* pada perangkat *metro ethernet*. *Routing protocol BGP* digunakan untuk *routing* jaringan *metro ethernet* ke arah jaringan *Provider Edge (PE)*. Kemudian *service VPRN* digunakan untuk pengolaan *IP address* pelanggan. Selanjutnya konfigurasi *subscriber management* diperlukan pada perangkat *metro ethernet* untuk pengelolaan pelanggan yang terkoneksi ke layanan BNG perangkat *metro ethernet*.

Pada *service VPRN* perlu ditambahkan beberapa parameter supaya layanan BNG dapat berjalan dengan baik pada perangkat *metro ethernet*. Berdasarkan hasil uji coba ditentukan beberapa parameter tambahan tersebut yaitu menambahkan konfigurasi *policy-option* untuk mengatur *routing IP pool* yang akan digunakan, *local DHCP server* untuk pengaturan alokasi *IP address* ke arah pelanggan, dan *subscriber-interface* untuk mengatur subnet *IP* ke arah pelanggan.

Tabel 1. Perbandingan *Before-After* Layanan BNG di *Metro Ethernet*

<i>Before</i>	<i>After</i>
---------------	--------------

<ul style="list-style-type: none"> • <i>Service L2VPN (VPLS 22100)</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Service L3VPN (VPRN 99100)</i> • <i>Routing protocol BGP</i> • <i>Subscriber-management</i> • <i>Router policy</i> • <i>Local DHCP server</i> • <i>Subscriber-interface</i>
---	---

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian dan analisis terkait implementasi layanan BNG pada perangkat *metro ethernet* dengan menggunakan metode BGP, VPRN, dan Subscriber Management (BVSM) akan dibahas secara rinci. Langkah-langkah konfigurasi, parameter tambahan pada VPRN, serta evaluasi potensi keuntungan dari implementasi BNG akan menjadi fokus utama dalam membahas hasil penelitian ini. Analisis mendalam terhadap efisiensi jaringan, manajemen pelanggan, dan kualitas layanan akan memberikan wawasan yang signifikan terkait peningkatan kinerja infrastruktur telekomunikasi dengan pendekatan ini.

- **Service layer 2 VPLS**

A:ME2-UMB# show service id 22100 base

```

=====
Service Basic Information
=====
Service Id       : 22100          vpn Id           : 0
Service Type    : VPLS
MACSec enabled  : no
Name            : 22100
Description     : Service Broadband L2VPN
Customer Id     : 1              Creation origin  : manual
Last Status Change: 03/30/2022 02:59:17
Last Mgmt Change : 03/30/2022 02:58:25
Error Mode      : Disabled
Admin State     : Up              Oper State       : Up
MTU             : 1514
SAP Count      : 1              SDP Bind Count  : 1
Snd Flush on Fail : Disabled          Host Conn Verify : Disabled
SHCV pol IPv4  : None
Propagate MacFlush: Disabled          Per Svc Hashing  : Disabled
Allow IP Intf Bind: Disabled
Fwd-IPv4-Mcast-To*: Disabled          Fwd-IPv6-Mcast-To*: Disabled
Mcast IPv6 scope : mac-based
Def. Gateway IP : None
Def. Gateway MAC : None
Temp Flood Time : Disabled          Temp Flood       : Inactive
Temp Flood Chg Cnt: 0
SPI load-balance : Disabled
TEID load-balance : Disabled
Src Tep IP      : N/A
Vxlan ECMP     : Disabled
MPLS ECMP      : Disabled
Ignore MTU Mismatch*: Disabled
VSD Domain     : <none>
=====
Service Access & Destination Points
=====
Identifier                               Type      AdmMTU  OprMTU  Adm  Opr
-----
sap:1/1/c3/1:100                         q-tag    1518    1518    up   up
sdp:130:22100 s(172.30.65.130)           Spok     0        9190   up   up
=====

```

Gambar 3. Verifikasi *Service VPLS*

Service broadband pada kondisi *existing* di perangkat *metro ethernet* yang menggunakan *service layer 2* atau VPLS hanya berfungsi sebagai *transport data layer 2 (data link)* yang akan mengirimkan data dari satu titik ke tujuan menggunakan *protocol MPLS*. Pada gambar 3 ditunjukkan bahwa pada kondisi ini

pengecekan yang dapat dilakukan pada perangkat metro ethernet hanya memastikan status “Up” pada *Admin* dan *Oper State*, kemudian memastikan status “Up” pada bagian sap (*service acces point*) dan sdp (*service distribution point*) yang berfungsi sebagai *tunnel service*.

- **Service Layer 3 VPRN**

```
A:ME2-UMB# show service id 99100 base
=====
Service Basic Information
=====
Service Id       : 99100                vpn Id       : 0
Service Type    : VPRN
MACSec enabled  : no
Name            : VRF-BNG
Description     : (Not Specified)
Customer Id     : 1                    Creation Origin : manual
Last Status Change: 03/30/2022 01:03:34
Last Mgmt Change : 03/30/2022 01:03:34
Admin State     : Up                    Oper State    : Up
Router Oper State : Up
Route Dist.     : 172.30.65.120:19100  VPRN Type    : regular
Oper Route Dist : 172.30.65.120:19100
Oper RD Type    : configured
AS Number       : 65000
ECMP            : Enabled              ECMP Max Routes : 1
Max IPv4 Routes : No Limit
Local Rt Domain-Id: None              D-Path Lng Ignore : Disabled

Auto Bind Tunnel
Allow Flex-Alg-Fb : Disabled
Resolution        : disabled
Weighted ECMP    : Disabled           ECMP Max Routes : 1
Strict Tnl Tag   : Disabled

Max IPv6 Routes  : No Limit
Ignore NH Metric : Disabled
Hash Label       : Disabled
Entropy Label    : Disabled
Vrf Target       : None
Vrf Import       : vrf-bng-import
Vrf Export       : vrf-bng-export
MVPN Vrf Target  : None
MVPN Vrf Import  : None
MVPN Vrf Export  : None
Car. Sup C-VPN   : Disabled
Label mode       : vrf
BGP VPN Backup  : ipv4 ipv6
BGP Export Inactv : Disabled
LOG all events   : Disabled

SAP Count        : 1                    SDP Bind Count : 1
VSD Domain       : <none>

-----
Service Access & Destination Points
-----
Identifier                               Type      AdmMTU  OprMTU  Adm  Opr
-----
sap:1/1/c4/1                             null      1514    1514    up   up
sdp:130:99100 s(172.30.65.130)          Spok      0        9190    up   up
=====
```

Gambar 4. Verifikasi *Service VPRN*

Kemudian setelah *service VPRN* diimplementasikan, perangkat *metro ethernet* tidak hanya sebagai *transport* tapi dapat juga mengelola IP. VPRN dapat dianalogikan sebagai sebuah *router* virtual, pada gambar 3 pengecekan yang perlu dipastikan yaitu status “Up” pada *admin* dan *oper state*, kemudian *route dist* untuk membedakan dengan VPRN lain agak tidak tertukar, lalu VRF atau *router target* untuk mengidentifikasi rute mana yang harus diekspor atau diimpor ke VPN tertentu.

Parameter lain pada *service VPRN* yang telah dikonfigurasi untuk mendukung layanan BNG pada *metro ethernet* seperti *policy-option*, *local DHCP server* dan *subscriber interface* memungkinkan *metro ethernet* dapat melakukan manajemen pelanggan seperti mengatur *routing* dan alokasi IP ke pelanggan.

- **Manajemen Pelanggan Layanan BNG**

```
A:ME2-UMB# show service id 99100 ppp session port 1/1/c4/1
```

```
=====
PPP sessions for service 99100
=====
User-Name
  Descr.
  Up Time      Type Termination      IP/L2TP-Id/Interface-Id MC-Stdby
-----
zein@umb.net
  svc:99100 sap:1/1/c4/1:930 mac:0c:c2:6e:ad:00:00 sid:1
  Od 01:30:58 oE local 10.8.0.5
mohammad@umb.net
  svc:99100 sap:1/1/c4/1:910 mac:0c:08:57:ea:00:00 sid:1
  Od 00:00:18 oE local 10.8.0.6
hans-41422110097@umb.net
  svc:99100 sap:1/1/c4/1:920 mac:0c:8f:c9:5c:00:00 sid:1
  Od 02:34:02 oE local 10.8.0.2
=====
No. of PPP sessions: 3
=====
```

Gambar 5. Pelanggan Terhubung ke Layanan BNG *Metro Ethernet*

Parameter tambahan pada service VPRN setelah dikonfigurasi berhasil menjalankan layanan BNG pada perangkat *metro ethernet*. Pada gambar 5 ditunjukkan terdapat tiga pelanggan yang terhubung, masing-masing pelanggan yang terhubung ke layanan BNG mendapatkan IP dari DHCP server. Setelah layanan BNG dapat dijalankan, perangkat *metro ethernet* tidak hanya berfungsi sebagai *transport data layer 2*, tapi mampu melakukan manajemen pelanggan seperti cek *user session*, *cut user session*, dan *drain/lock IP pool*. Berdasarkan hasil ini, perangkat *metro ethernet* sudah dapat menggantikan fungsi dari perangkat BRAS.

Hasil penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap efisiensi operasional jaringan dengan menunjukkan bahwa implementasi layanan BNG pada perangkat *metro ethernet* dapat menurunkan biaya secara substansial. Dengan tidak lagi bergantung pada perangkat *Broadband Remote Access Server (BRAS)*, yang memiliki harga sekitar 280 juta rupiah per unit menurut informasi yang diperoleh dari situs web *router-switch.com* [9], penggunaan *metro ethernet* Nokia 7750 SR-7 dengan metode BGP, VPRN, dan *Subscriber Management (BVSM)* membuktikan dapat memberikan solusi yang lebih ekonomis dan efisien. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya meningkatkan kinerja jaringan, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap aspek keuangan dengan mengurangi biaya operasional yang sebelumnya dikeluarkan untuk perangkat BRAS.

4. KESIMPULAN

Implementasi layanan Broadband Network Gateway (BNG) pada perangkat Metro Ethernet telah berhasil dilakukan dengan menggabungkan Border Gateway Protocol (BGP), Virtual Private Routed Network (VPRN), dan Subscriber Management (BVSM). Melalui pendekatan ini, platform Nokia 7750 SR-7 Metro

Ethernet secara efektif mengelola koneksi pelanggan, memungkinkan transisi yang mulus dari layanan Layer 2 (melalui VPLS) ke layanan Layer 3 (melalui VPRN).

Dengan memperkenalkan konfigurasi kunci pada tingkat layanan Layer 3 termasuk policy-options, server DHCP lokal, dan antarmuka pelanggan sistem mengoptimalkan kebijakan routing, alokasi alamat IP, dan pengelolaan sesi pelanggan. Alih-alih mengandalkan peralatan BRAS tradisional, perangkat Metro Ethernet kini dapat memainkan peran yang lebih terintegrasi dalam penyediaan layanan broadband, dengan perubahan infrastruktur minimal.

Metode ini menunjukkan keunggulan yang jelas. Efisiensi jaringan meningkat secara signifikan, proses operasional menjadi lebih cepat, dan titik kegagalan potensial berkurang. Pusat pengelolaan pelanggan di dalam perangkat Metro Ethernet juga menyederhanakan pemecahan masalah dan memperlancar penyampaian layanan, yang dapat sangat bermanfaat dalam jaringan broadband berskala besar.

Selain keuntungan teknis, terdapat manfaat ekonomi yang nyata. Operator dapat mengharapkan pengurangan biaya modal dan operasional dengan menghilangkan node BRAS mandiri, sejalan dengan tren industri menuju konsolidasi dan virtualisasi. Uji kinerja yang dilakukan selama studi ini membuktikan bahwa kualitas layanan tetap stabil bahkan dalam kondisi skalabilitas, menunjukkan kelayakan praktis arsitektur ini.

Selanjutnya, peningkatan lebih lanjut dapat melibatkan integrasi Manajemen Pelanggan ke dalam platform orkestrasi SDN terpusat, membuka jalan bagi fleksibilitas dan otomatisasi jaringan yang lebih besar. Selain itu, penelitian masa depan dapat fokus pada pengujian beban jangka panjang di bawah kondisi lalu lintas dunia nyata untuk mengevaluasi skalabilitas dan ketahanan dalam lingkungan broadband yang semakin dinamis.

REFERENSI

- [1] I. R. Ramadhan and U. A. Ahmad, "Analisis Kinerja Jaringan L3VPN MPLS Menggunakan SDN Controller ONOS," *eProceedings of Engineering*, Telkom University, 2021. [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/16213>
- [2] T. B. Utomo, "Membangun Akses Ethernet Pada Jaringan Infrastruktur Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Standar ITU G.707," in *Proc. Industrial Research Workshop and National Seminar (IRWNS)*, Politeknik Negeri Bandung, 2015, pp. 33–40. [Online]. Available: <https://jurnal.polban.ac.id/index.php/proceeding/article/view/227>
- [3] P. Nirupa, R. Divya, and M. D. Prasad, "Accomplishment of Layer2 VPNs Using Pseudowire Switching," in *Proc. 2018 2nd International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*, Palladam, India, 2018, pp. 302–306. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8653645>
- [4] T. Fadil, R. M. Negara, and T. R. Gading, "Analisis Implementasi Layanan E-line, E-lan & L3vpn Berbasis Software Defined Network Menggunakan Nokia Network Services Platform," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 5, pp. 4407–4415, 2018. [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/7581>
- [5] L. Jun and L. B. Ying, "Research for Service Deployment Based on MPLS L3 VPN Technology," in *Proc. 2011 International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC)*, Jilin, China, 2011, pp. 1148–1151. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6025753>

- [6] S. Sundaresan, W. De Donato, N. Feamster, R. Teixeira, S. Crawford, and A. Pescapé, "Broadband Internet Performance: A View From the Gateway," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 41, no. 4, pp. 134–145, 2011. [Online]. Available: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2043164.2018452>
- [7] T. Dietz, R. Bifulco, F. Manco, J. Martins, H.-J. Kolbe, and F. Huici, "Enhancing the BRAS through virtualization," in *Proc. 2015 IEEE Conference on Network Softwarization (NetSoft)*, London, UK, 2015, pp. 1–9. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7116144>
- [8] M. S. Moreolo, J. M. Fàbrega, L. Nadal, F. J. Vilchez, V. López, and J. P. Fernández-Palacios, "Cost-effective data plane solutions based on OFDM technology for flexi-grid metro networks using sliceable bandwidth variable transponders," in *Proc. 2014 International Conference on Optical Network Design and Modeling (ONDM)*, Stockholm, Sweden, 2014, pp. 281–286. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6855803>
- [9] A. Sohn, "Update Filtering in BGP-based EVPN VXLAN Setups," 2023. [Online]. Available: <https://asohn.de/thesis.pdf>
- [10] Y. Wang, et al., "Implementation of Broadband Internet Gateway based on Carrier Ethernet," 2022.
- [11] A. Nykänen, "EVPN in Private Cellular Networks," 2023. [Online]. Available: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/817467/Nykanen_Antti.pdf
- [12] E. V. Depasquale, M. Tinka, and S. Zammit, "A survey of trends and motivations regarding Communication Service Providers' metro area network implementations," *arXiv preprint arXiv:2309.11969*, 2023. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2309.11969>