

Kajian Tekno Ekonomi Migrasi Jaringan Berbasis xDSL ke FTTx GPON di Daerah Perkotaan

Heryanto

PT. Cogindo Daya Bersama (Unit PLTU Suralaya 8), Jakarta
email : riyans1977@gmail.com

Abstrak

Penelitian dan pengembangan teknologi dibidang telekomunikasi menghadapi tantangan utamayaitu meningkatnya kebutuhan bandwidth secara signifikan dari tahun ketahun. Permasalahan yang dihadapi di Indonesia saat ini adalah sebagian besar jaringan telekomunikasi *broadband* masih menggunakan DSL berbasis kawat tembaga sebagai media utama akses jaringan. Kondisi ini jika tidak diantisipasi oleh operator penyedia jasa jaringan telekomunikasi, memungkinkan terjadinya *bottleneck* ketika bertambahnya kebutuhan akan konvergensi layanan telekomunikasi seperti triple-play service. Oleh karena itu dibutuhkan suatu kajian tekno ekono mimigrasi jaringan akses untuk sebagai dasar pemilihan teknologi beserta aspek ekonominya yang dapat memenuhi tuntutan tersebut. Tujuan penelitian ini adalah melakukan kajian tekno-ekonomi terhadap migrasi jaringan DSL berbasis tembaga keteknologi jaringan FTTx GPON pada daerah perkotaan menggunakan metode STEM (*Strategic Telecom Evaluation Model*). Metode tersebut berbasis pada pembagian kelas densitas rumah tangga pada area tertentu menjadi empat kelas kepadatan yaitu; sangat tinggi, tinggi, sedang dan rendah. Dari hasil kajian diperoleh untuk daerah dengan kepadatan rumah tangga sangat tingi dan tinggi jaringan akses layak secara teknologi dan ekonomi untuk migrasi dari jaringan berbasis kabel tembaga kelayanan berbasis kabel optic FTTx GPON, untuk daerah dengan kepadatan sedang dilayani oleh dua teknologi yaitu VDSL dan GPON, sedangkan untuk daerah kepadatan rendah hanya dilayani oleh teknologi VDSL. Dengan demikian operator dapat menggunakan hasil kajian ini untuk mendukung pengambilan keputusan dalam rangka migrasi jaringan akses.

Kata Kunci: Jaringan akses, kabel optik, Analisis tekno-ekonomi, xDSL, GPON

Abstract

Technology research and development in the field of telecommunication faces major challenges, the increasing of bandwidth requirement significantly from year to year. The problem faced in Indonesia today is that most broadband telecommunication networks still use DSL-based copper wire as the main medium of network access. This condition if not anticipated by telecommunication network service providers, allows the occurrence of bottlenecks when increasing the need for convergence of telecommunication services such as triple-play service. Therefore it is needed a study tekno

ekonomi migrasi akses jaringan sebagai basis teknologi seleksi dan aspek ekonominya yang dapat memenuhi tuntutan ini. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari teknologi ekonomi yang mengarahkan migrasi jaringan DSL berbasis teknologi tembaga ke jaringan FTTx GPON di kawasan perkotaan menggunakan metode STEEM (Strategic Telecom Evaluation Model). Metode ini didasarkan pada pembagian kepadatan rumah tangga di suatu kawasan menjadi empat kelas kepadatan yaitu; Sangat tinggi, tinggi, menengah dan rendah. Dari hasil penelitian diperoleh untuk kawasan dengan kepadatan rumah tangga yang sangat tinggi dan secara teknologi dan ekonomis layak akses jaringan untuk migrasi jaringan berbasis serat optik ke jaringan FTTx GPON kabel optik, untuk kawasan yang padat yang dilayani oleh dua teknologi VDSL dan GPON, sedangkan untuk kawasan dengan kepadatan rendah dilayani hanya oleh teknologi VDSL. Dengan demikian operator dapat menggunakan hasil penelitian ini untuk mendukung pengambilan keputusan dalam konteks migrasi akses jaringan.

Keywords: Access network, optical cable, Techno-economic analysis, xDSL, GPON

Received July 2016

Accepted for Publication August 2016

DOI: 10.22441/incomtech.v7i2.1166

1. PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Penelitian dan pengembangan teknologi dibidang telekomunikasi didorong oleh evolusi yang berkelanjutan dari kebutuhan dan persyaratan layanan. Teknologi baru muncul, prinsip-prinsip baru berkembang, dan jaringan menghadapi tantangan baru. Selain menghadapi tantangan utama yaitu meningkatnya kebutuhan bandwidth, dimasa depan layanan juga membutuhkan persyaratan tambahan, misalnya *latency* atau keandalan jaringan komunikasi.

Berkaitan dengan tahap atau fase konvergensi jaringan akses di Indonesia yang masih dalam tahap pertumbuhan dimana diperlukan kualitas layanan yang lebih baik dengan kapasitas yang besar, operator mengantisipasi hal ini dengan menyiapkan infrastruktur jaringan telekomunikasi yang mendukung layanan pita lebar. Saat ini di Indonesia sebagian besar jaringan telekomunikasi pita lebar masih menggunakan kawat tembaga (*DSL-Digital Subscriber Line*) atau kabel koaxial sebagai media akses jaringan telekomunikasi. Kondisi ini jika tidak diantisipasi, memungkinkan terjadinya *bottleneck* ketika bertambahnya kebutuhan akan konvergensi diimplementasikan dalam jaringan telekomunikasi.

Saat ini sudah banyak teknologi berbasis broadband yang dikembangkan untuk memenuhi layanan “Triple Play” yang berbentuk video, suara dan data. Diantara teknologi tersebut dikembangkan teknologi Digital Subscriber Line (DSL) dan *cable modem*. Walaupun kinerja teknologi tersebut sudah cukup baik namun belum cukup menjamin dalam alokasi bandwidth untuk setiap pelanggan perumahan, terutama dalam layanan *video streaming*, *games online*, dan *video broadcasting*. Teknologi DSL masih menggunakan teknologi kabel tembaga sehingga kurang memenuhi persyaratan kebutuhan khususnya dalam alokasi

bandwidth, untuk memenuhi tuntutan kebutuhan terhadap kualitas dan jenis layanan telekomunikasi yang semakin meningkat, maka di gunakan sarana komunikasi berbasis fiber optik sampai ke lokasi pelanggan.

Fiber To The-x (FTTx) didefinisikan sebagai sebuah arsitektur jaringan komunikasi dimana koneksi terakhir ke terminal pelanggan diterminasikan dengan menggunakan kabel optik . Pemilihan teknologi kabel optik didasari atas beberapa pertimbangan diantaranya: dukungan terhadap jaringan akses pita lebar, tidak dipengaruhi interferensi gelombang elektromagnetik, bebas korosi, menyediakan rugi-rugi minimal untuk transportasi terintegrasi serta menjangkau area yang posisinya jauh dari *Central Office* (CO). Keputusan final operator dalam melakukan investasi penggunaan kabel optik untuk menjangkau pelanggan yang lebih luas tergantung pada hasil analisa tekno-ekonomi termasuk resiko yang akan dihadapi.

Disatu sisi operator ingin menangkap peluang baru berkaitan dengan adanya trend dari pelanggan berkaitan dengan konvergensi layanan, tetapi kondisi ini masih spekulatif tentang revenue yang dihasilkan, dan disisi lain operator juga perlu menganalisa, karena implementasi teknologi ini adalah salah satu alternatif dari beberapa alternatif yang mungkin akan diambil, sebagai salah satu pilihan investasi terbaik.

Optimalisasi penggunaan jaringan kabel optik sangat bergantung pada penggunaan jaringan tersebut dan *content* menjadi salah satu isu utama disini. Tanpa adanya estimasi atau prediksi dalam sebuah analisa tekno-ekonomi, sulit kiranya menjustifikasi bahwa implementasi teknologi baru FTTx ini akan menyumbang *revenue significant* bagi operator.

Untuk pasar Indonesia, saat ini baru beberapa operator yang fokus untuk mengembangkan teknologi FTTx sebagai teknologi jaringan akses generasi berikutnya (NGAN), salah satunya adalah PT Telekomunikasi Indonesia, Tbk. Implementasi teknologi FTTx ini relatif baru di Indonesia yang merupakan migrasi dari jaringan berbasis tembaga yang sudah ada sebelumnya.

Dengan demikian analisa tekno-ekonomi tentang migrasi jaringan berbasis tembaga ke jaringan FTTx berbasis PON ini, dapat digunakan sebagai salah satu bahan pertimbangan bagi operator dalam mengimplementasikan teknologi FTTx tersebut. Analisa atau kajian yang dilakukan meliputi aspek teknologi dan aspek ekonomi untuk memberikan keyakinan serta menjamin bahwa implementasi ini dapat dilaksanakan dan memberikan kontribusi positif bagi operator.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan uraian pada latar belakang dapat diidentifikasi beberapa hal berkaitan dengan pentingnya implementasi teknologi jaringan akses fiber optik FTTx dalam jaringan akses di Indonesia yaitu;

1. Mengantisipasi kebutuhan konvergensi layanan yang menuntut pula terjadinya konvergensi di sisi jaringan akses.

2. Meningkatnya kebutuhan bandwidth dimana kebutuhan pelanggan bergeser dari kebutuhan dasar (voice) ke kebutuhan yang bersifat interaktif (voice, data dan video).
3. Ketersediaan bandwidth disisi backhaul dan jaringan LAN, sebagian besar sudah menggunakan jaringan fiber optik, tetapi jaringan akses masih didominasi oleh kawat tembaga (DSL) dan kabel koaxial.

Oleh karena itu dalam Penelitian ini dilakukan analisa tekno-ekonomi terhadap migrasi jaringan DSL ke teknologi jaringan FTTx yaitu GPON pada daerah perkotaan dengan densitas rumah tangga (household density) per km² sangat tinggi, tinggi, sedang dan rendah. Analisa berbasis densitas ini memiliki kelebihan karena hasil analisa dapat digunakan di beberapa daerah dengan tingkat kepadatan rumah tangga yang hampir sama. Analisa ini meliputi; bagaimana skema sinergi antara jaringan akses DSL dan teknologi PON, estimasi jumlah koneksi ke pelanggan pada empat kategori densitas rumah tangga (household density), Capex kumulatif, propit layanan dan NPV untuk beberapa pilihan teknologi serta skema kerjasama dengan operator lain dalam jaringan akses.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian yang akan dilakukan adalah melakukan analisa tekno-ekonomi migrasi jaringan akses DSL *existing* ke jaringan FTTx GPON di daerah perkotaan. Analisa yang dilakukan merupakan analisa kualitatif dan kuantitatif atas beberapa pilihan teknologi jaringan akses untuk diimplementasikan dengan memperhatikan segmen pelanggan di daerah perkotaan berdasarkan densitas rumah tangga (household density) per km² sebagai target yang akan dilayani. Analisa kuantitatif dilakukan atas beberapa parameter yang meliputi estimasi panjang kabel optik yang dibutuhkan berdasarkan kepadatan rumah tangga per km² untuk beberapa pilihan teknologi yang akan diimplementasikan, *Capital expenditure* (CAPEX) dan *Net Present Value* (NPV) sehingga diperoleh gambaran berkaitan dengan kelayakan bisnis dalam implementasi teknologi jaringan akses FTTx di Indonesia.

2. KAJIAN PUSTAKA

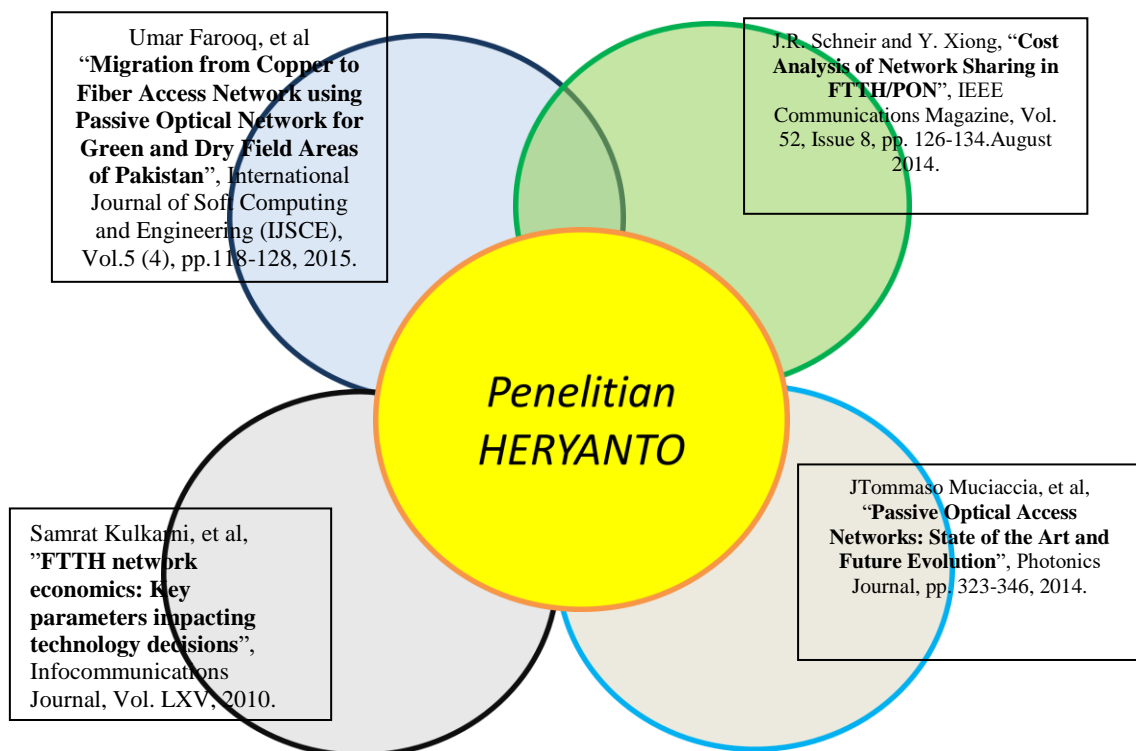
2.1. Kajian Literatur

Penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan penelitian ini antara lain sebagai berikut :

- i. Umar Farooq, Sajid Bashir, Tauseef Tasneem, A.Saboor, A.Rauf, "Migration from Copper to Fiber Access Network using Passive Optical Network for Green and Dry Field Areas of Pakistan", *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, Vol.5 (4), pp.118-128, 2015. Membahas Migrasi jaringan akses tembaga ke jaringan optic GPON, Penghitungan Capex dengan menggunakan Menggunakan GIS. Kajian hanya dilakukan untuk daerah kepadatan rendah (greenfield & dry field) di Pakistan dan Kajian hanya untuk GPON.
- ii. Juan Rendon Schneir and Yupeng Xiong, "Cost Analysis of Network

Sharing in FTTH/PON”, IEEE Communications Magazine, Vol. 52, Issue 8, pp. 126-134. August 2014.
Membahas Analisa biaya GPON dan XGPON ,Penghitungan Capex Jurnal hanya mengkaji biaya untuk daerah kepadatan rendah (greenfield) dan bukan migrasi,Menggunakan pendekatan SPE (special purpose entity).

- iii. Samrat Kulkarni, Mohamed El-Sayed, Paul Gagen, Beth Polonsky, "FTTH network economics: Key parameters impacting technology decisions", Infocommunications Journal, Vol. LXV, 2010.
Mengkaji pilihan secara tekno-ekonomi untuk FTTH GPON,Penghitungan Capex . Jurnal menganalisa 3 opsi yaitu GPON, EPON dan AE (active Ethernet)
- iv. Tommaso Muciaccia, Fabio Gargano and Vittorio M. N. Passaro, "Passive Optical Access Networks: State of the Art and Future Evolution", Photonics Journal, pp. 323-346, 2014.
Mengkaji evolusi dan pengembangan jaringan akses GPON dan XGPON,Mengkaji tantangan operator untuk mengganti jaringan tembaga ke optic. Jurnal menganalisa dari segi pentingnya migrasi jaringan dan tantangan yang dihadapi oleh operator incumbent.



Gambar 1 Perbandingan Penelitian

3. METODE PENELITIAN

Penelitian yang akan dilakukan merupakan analisa tekno-ekonomi yang diarahkan kepada analisis peluang investasi pada jaringan akses berikutnya

(NGAN) khususnya migrasi jaringan DSL ke FTTx GPON, analisis pemilihan teknologi serta pendukung keputusan bisnis. Adapun tahapan penelitian yang akan dilakukan diperlihatkan pada diagram alir Gambar 2.

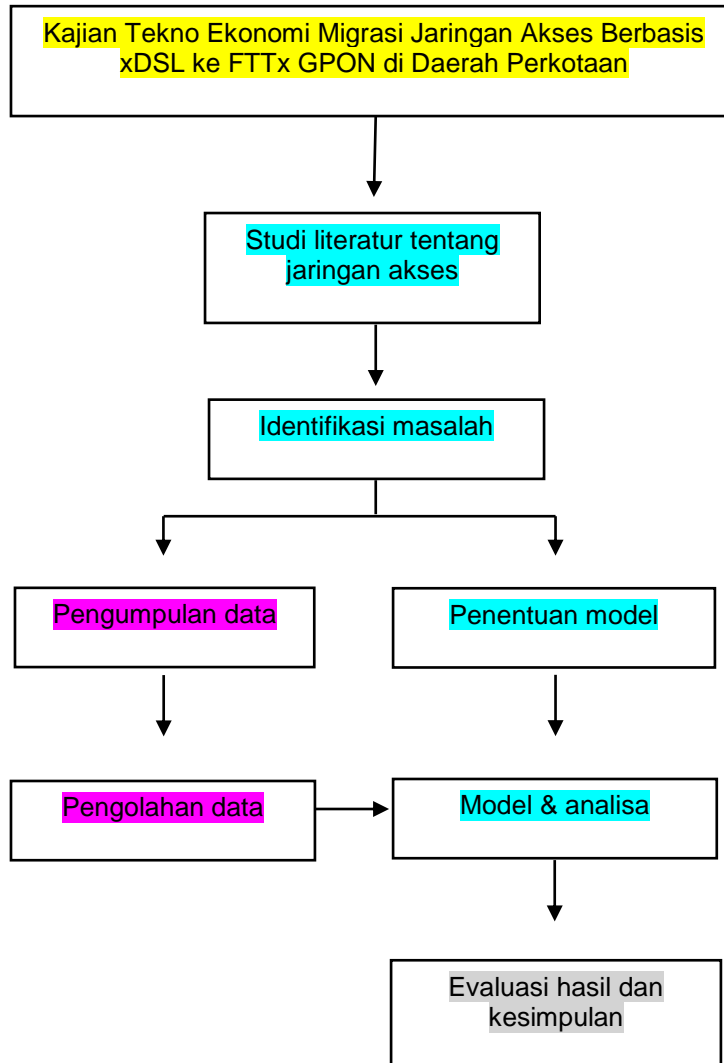
Seperti diperlihatkan pada Gambar 2. proses dimulai dengan identifikasi masalah, pada tahapan ini didentifikasi masalah mengenai kesenjangan antara kebutuhan bandwidth pelanggan dengan kemampuan operator dalam memenuhi kebutuhan tersebut. Kebutuhan pelanggan akan layanan komunikasi yang semakin tinggi, tidak hanya menuntut layanan voice saja tetapi layanan konvergen yaitu voice, data dan video (triple play service). Hal ini menuntut kemampuan dan kapasitas jaringan akses dengan *bandwidth* yang besar, sementara itu jaringan akses *existing* yang berbasis xDSL dirasa kurang atau tidak mampu memenuhi tuntutan tersebut. Dengan demikian maka jaringan akses harus berubah (migrasi) dari jaringan akses berbasis xDSL ke jaringan FTTx untuk mengatasi dan menangkap peluang bisnis dengan munculnya tuntutan pelanggan tersebut.

Tahapan selanjutnya adalah melakukan pengumpulan dan pengolahan data mengenai pelanggan pada segmen perkotaan, dalam hal ini DKI Jakarta di jadikan sebagai contoh kasus. Selanjutnya dilakukan pemilihan dan penentuan model analisa tekno-ekonomi untuk menganalisa migrasi jaringan akses berbasis xDSL ke FTTx GPON. Setelah data dan model diperoleh dilanjutkan dengan analisa. Pada tahap analisa tekno-ekonomi dilakukan perhitungan *Net Present Value* (NPV), *Cumulative Capital expenditure* (cumulative Capex), panjang kabel optic yang dibutuhkan untuk implementasi PON beserta distribusinya untuk keempat kategori *household density* dan profit layanan secara bertahap migrasi DSL ke FTTx dalam periode yang ditentukan. Pada bagian akhir berupa kesimpulan berisi point-point utama yang diperoleh dari hasil analisis.

Tipikal siklus hidup jaringan terdiri dari tahapan sebagai berikut: perencanaan, instalasi awal, fase operasional, dan pembongkaran. Implementasi teknologi baru mungkin perlu biaya investasi yang besar oleh karena itu sebelumnya diperlukan studi tekno-ekonomi yang komprehensif untuk mendapatkan estimasi biaya investasi dan kelayakan bisnis yang dibutuhkan. Hal ini dilakukan dalam tahap perencanaan proyek. Tahap perencanaan awal membantu operator untuk mengevaluasi profitabilitas dari setiap proyek baru, mempertimbangkan ketidakpastian pada penetrasi pengguna, pendapatan, dan konvergensi pasar. Selain itu, sebuah studi tekno-ekonomi yang komprehensif membandingkan teknologi yang tersedia untuk membantu operator dalam mempersempit pilihan teknologi dan memilih teknologi dengan biaya yang paling efisien dan mampu memenuhi semua kebutuhan pengguna. Penilaian bisnis memungkinkan operator untuk menghitung pendapatan mereka dan menilai kelayakan untuk bermigrasi ke arah teknologi atau arsitektur baru.

Selain biaya beberapa aspek penting lainnya, yaitu survivabilitas, konsumsi energi, dan lain-lain, juga dapat memainkan peran penting untuk desain dan implementasi jaringan. Oleh karena itu, beberapa model analitis dapat membantu untuk menilai kelayakan bisnis, biaya atau kemampuan kinerja lainnya dari berbagai teknologi sebelum diimplementasikan. Dalam Bab ini, akan dijelaskan kerangka yang digunakan untuk studi tekno-ekonomi dan pemodelan perangkat

lunak *Strategic Telecoms Evaluation Model* (STEM) untuk mengevaluasi skenario migrasi jaringan yang akan dilakukan.



Gambar 2 Diagram alir pelaksanaan penelitian

3.1. PEMODELAN DAN KERANGKA EVALUASI TEKNO-EKONOMI

Infrastruktur jaringan yang mendukung akses broadband dipandang sebagai faktor kunci dalam pengembangan jaringan akses. Layanan broadband dapat didukung dengan menggunakan teknologi yang berbeda. Model ini akan menelaah implementasi kabel optik sebagai cara untuk menerapkan solusi NGA (Next Generation Access Networks) seperti yang diperlihatkan oleh kelompok *Full Service Access Network* (FSAN) dan *International Telecommunication Union* (ITU).

Model ini ditujukan untuk operator jaringan akses, sehingga operator hanya konsentrasi pada fungsi akses sementara itu konten dan jaringan inti berada di luar

lingkup dari model ini. Struktur jaringan tembaga tradisional tidak dimodelkan. Model melakukan upaya pengembangan jaringan VDSL yang diperlukan dan peluncuran layanan berbasis kabel optik menggunakan teknologi GPON sebagai titik awal dan memperluas pada tahap berikutnya untuk teknologi XGPON.

3.1.1 . Model Geografi

Model ini terutama fokus pada peluncuran serat optik (FTTB / FTTH) dan instalasi sistem GPON untuk menyediakan layanan broadband. Peluncuran infrastruktur kabel optik membutuhkan perencanaan dan optimasi yang akurat berbasis GIS. Untuk analisis tingkat tinggi pendekatan ini tidak praktis, karena membutuhkan banyak detail dan tahapan. Konflik antara pemodelan tingkat tinggi yang akurat tetapi memakan waktu dan perencanaan tidak akurat di satu sisi maka STEM menawarkan solusi lain dengan masukan intensif yang ditujukan sebagai berikut:

- Area yang akan di cover di bagi menjadi wilayah (wilayah dapat berupa sebuah kota, atau sekumpulan yang mirip dengan kota, atau bagian dari kota). Sehingga menjadi lebih fleksibel.
- Setiap daerah dimodelkan secara terpisah; model untuk daerah yang terdapat dalam template dan dapat direplikasi (benchmark) sebanyak daerah yang mirip sesuai keperluan.
- Sebuah wilayah dibagi menjadi empat kelas kepadatan (*Kepadatan rendah, kepadatan sedang, kepadatan tinggi dan kepadatan yang sangat tinggi*), Kelas kepadatan ini terutama dipilih untuk mencerminkan berbagai kondisi geografis dan biaya infrastruktur. Penggunaan kelas kepadatan fleksibel sesuai dengan definisi (misalnya kepadatan rumah tangga per km²) dan tidak semua kelas harus digunakan untuk masing-masing daerah.
- Input utama diberikan per wilayah dan kelas kepadatan; model bergantung pada data statistik yang tersedia (misalnya jumlah rumah tangga, kepadatan rumah tangga, daerah tertutup dan lain-lain).

Dengan demikian, operator hanya akan merencanakan beberapa daerah yang mewakili, selanjutnya dilakukan penyesuaian model dan akhirnya menggunakan model untuk seluruh wilayah. Model ini mengasumsikan bahwa ada infrastruktur tembaga yang terpasang (jaringan tembaga eksisting), yang dapat diduplikasi dengan kabel optik. Kotak sambung jalan (street cabinet) yang ada dapat digunakan atau dikembangkan untuk rumah *splitter*.

3.1.2 Segmen Pasar

Segmen pasar dan layanan berasal dari jumlah rumah tangga (households) di suatu wilayah. Rumah tangga dalam suatu wilayah masing-masing ditetapkan menjadi empat kelas kepadatan. Segmen pasar yang juga menjanjikan adalah *backhaul* layanan bergerak, namun pasar untuk mobile backhaul tidak dieksplorasi dalam model ini, walaupun demikian pasar ini memiliki potensi pendapatan yang sangat besar untuk tahapan di mana XGPON diimplementasikan dan hampir semua penduduk dilayani dalam area yang diberikan.

Rumah tangga dapat dilayani oleh beberapa teknologi yang berbeda seperti:

- Wireless
- Solusi kabel coax (DOCSIS)
- Solusi tradisional berbasis tembaga (DSL, VDSL)
- Solusi berbasis serat optik (GPON / XGPON).

Pada pemodelan migrasi layanan berbasis kabel tembaga ke layanan berbasis kabel optik, langkah berikutnya adalah menentukan jumlah rumah tangga (households) yang dilayani oleh jaringan kabel tembaga dan potensi yang akan dilayani oleh jaringan kabel optik dari jumlah total rumah tangga yang ada di suatu wilayah. Pada pendekatan ini, memungkinkan untuk mempertimbangkan situasi kompetisi yang berbeda, situasi geografis yang berbeda dan kendala lainnya pada setiap wilayah dan bahkan pada tingkat kelas kepadatan.

3.1.3 Layanan

Pemodelan ini fokus pada bagian akses dari jaringan dan layanan untuk akses broadband dengan teknologi yang berbeda termasuk layanan berikut:

- DSL merupakan koneksi standar saat ini, melalui jaringan kabel tembaga yang ada.
- VDSL menawarkan bandwidth yang lebih tinggi dan membutuhkan perubahan dalam jaringan tembaga dan penerapan kabel optic.
- 100M merupakan produk berbasis kabel optik menggunakan teknologi GPON. Sebuah infrastruktur jaringan baru diperlukan dengan serat optic langsung ke pelanggan. [30]
- 1G merupakan varian XGPON. Pada teknologi ini diperlukan penggantian CPE dan peralatan sentral tetapi jaringan kabel optik tetap tidak berubah.

Layanan berasal dari asumsi penetrasi segmen pasar jaringan tembaga dan kabel optik. Pendekatan pemodelan memberikan fleksibilitas yang cukup untuk mengatasi situasi seperti migrasi dan koeksistensi jaringan kabel tembaga dan jaringan berbasis kabel optik, atau penggelaran kabel optik bagi operator pendatang baru.

3.1.4 Infrastruktur

Pada bagian model jaringan berbasis kabel tembaga hanya beberapa komponen yang dimodelkan, hal ini didukung oleh fakta bahwa sebagian besar infrastruktur eksisting sudah terpasang. Untuk pengembangan jaringan VDSL yang digelar menggunakan asumsi sebagai berikut:

- DSLAM (VDSL)
- Kabel optik pengumpan (distribusi fiber untuk implementasi atau peluncuran PON dapat diinstal secara paralel untuk menghemat biaya di masa depan)

- Pengembangan *street-cabinet*.

3.1.4.1 Infrastruktur Fiber

Fokus utama adalah pada infrastruktur kabel optik pasif (PON). Hal ini dapat dibagi menjadi:

- Feeder kabel optik antara *CO* (central office) dan *splitter*, satu kabel optik per sistem
- Distribusi kabel optik dari *splitter* sepanjang jalan, satu kabel optik per pelanggan, kabel dipilih untuk menangani jumlah maksimum pelanggan di daerah yang dilayani oleh kabel optik tersebut.
- Drop kabel optik yang menghubungkan distribusi dan bangunan (dari titik penyambungan terdekat di jalan ke dalam gedung), satu serat per pelanggan, kabel dipilih untuk menangani jumlah maksimum pelanggan per bangunan.

Model ini disiapkan untuk kemungkinan yang berbeda fiber milik sendiri, sewa atau saluran milik sendiri, kabel optik dari atas/udara dan biaya per wilayah dan kelas kepadatan yang berbeda. Hasil pemodelan dapat dipengaruhi oleh pengaturan input untuk mencerminkan perencanaan geografis yang akurat berbasis Sistem Informasi Geografis (GIS).

Operator harus membangun jaringan kabel optik secara proaktif. Feeder dan distribusi kabel optik kemungkinan akan dilakukan jauh sebelum layanan ini dipasarkan. Drop kabel optik ke bangunan mungkin akan diinstal sesuai dengan permintaan pelanggan.

Splitter adalah perangkat yang membagi sinyal optik yang berasal dari kabel optik pengumpan ke n bagian (umumnya $n = 32$) dan sebaliknya menggabungkan sinyal yang datang dari n port menjadi satu sinyal umum terhadap kabel optik pengumpan. Untuk setiap gedung membutuhkan biaya tambahan (misalnya rumah kabel) dan gedung merupakan sumber daya yang terpisah per kelas kepadatan rumah tangga.

3.1.4.2 Komponen Lainnya

Elemen model lainnya adalah:

- CPE atau ONU tiap pelanggan (rumah tangga) yang harus diganti dalam kasus migrasi ke teknologi XGPON
- OLT (optical line terminal), peralatan sentral untuk GPON
- XGPON OLT, peralatan sentral untuk XGPON (paralel GPON dan XGPON atau beberapa XGPON pada satu jaringan optik membutuhkan *wavelength splitter* tambahan)
- *Wavelength splitter* (untuk koeksistensi beberapa sistem PON pada satu fiber).

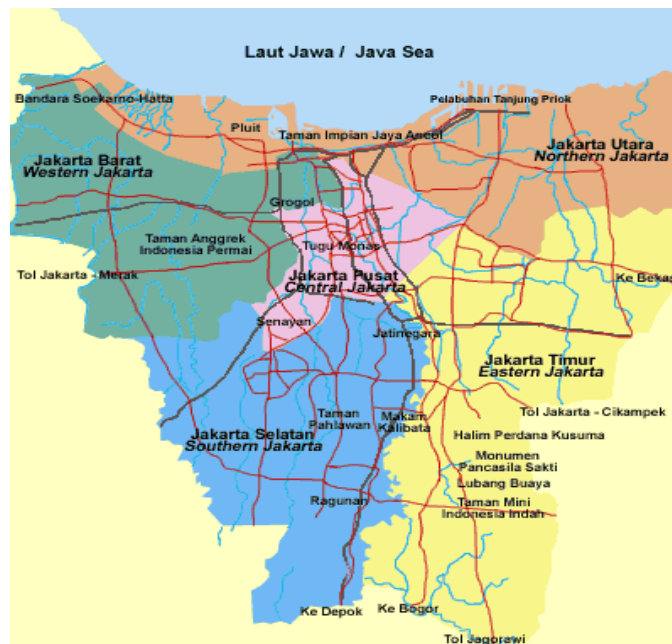
Meskipun fokus pemodelan adalah pada GPON / XGPON sebagai pilihan yang terbaik untuk jaringan optik pasif (FSAN), adaptasi untuk EPON tidak memerlukan perubahan besar pada model.

3.2 DATA INPUT MODEL

3.2.1 Populasi Pasar dan Kelas Densitas Kepadatan Rumah Tangga

Kota yang dijadikan sampel dalam studi ini adalah Jakarta. Input data pertama yang diperlukan adalah jumlah rumah tangga dalam area tertentu yang menjadi target pasar untuk calon pelanggan atau pelanggan yang bermigrasi ke layanan baru. Gambar 3 menunjukan peta wilayah DKI Jakarta secara umum yang menggambarkan lima wilayah administratif di propinsi tersebut.

Berdasarkan data Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil tahun 2014 di propinsi DKI Jakarta terdapat 3.126.454 Kepala Keluarga (KK) dengan luas wilayah 664,93 km². Pada evaluasi tekno-ekonomi dengan model STEM ini diperlukan data jumlah rumah tangga (household) pada area tertentu beserta kepadatannya per km². Selanjutnya data kepadatan rumah tangga akan dibagi menjadi empat kelas kepadatan terpisah. Pola representasi jalan gunakan untuk memperoleh aturan umum dalam cakupan link (link coverage) rumah tangga dengan jarak tempuh untuk bangunan yang dilalui dan rumah tangga terhubung dengan mempertimbangkan tentang bagaimana tempat tinggal dan beberapa blok menara atau bangunan tinggi mendistorsi hubungan antara bangunan yang dilewati dan rumah tangga yang potensial untuk terhubung.



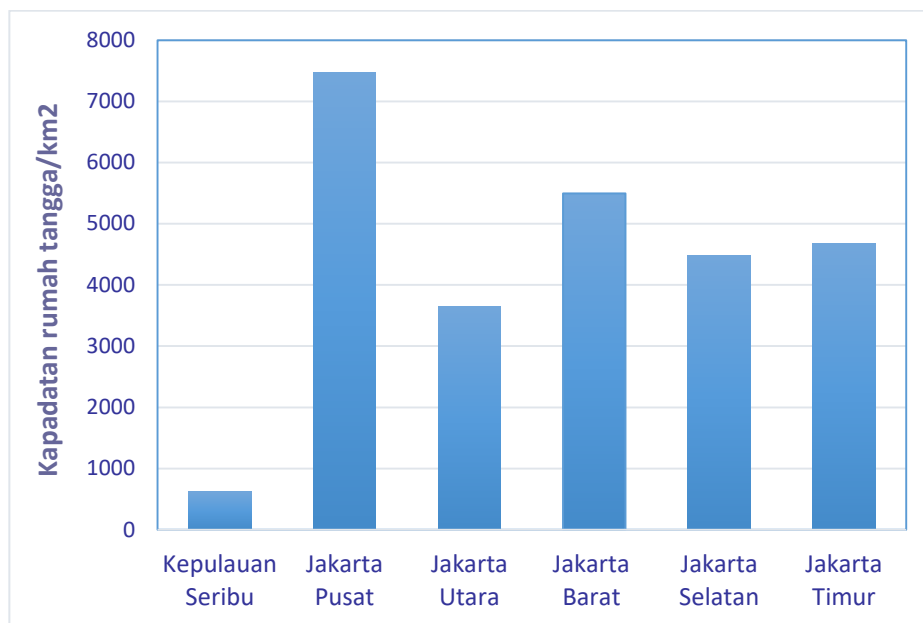
Gambar 3 Peta wilayah DKI Jakarta

Tabel 1 memperlihatkan data luas wilayah, jumlah rumah tangga (berdasarkan jumlah kepala keluarga) dan densitas kepadatan rumah tangga (households density) yang ada di Jakarta. Lebih jelas terlihat pada grafik Gambar 4, daerah Jakarta Pusat memiliki densitas kepadatan rumah tangga tertinggi yaitu

7.476 rumah tangga per km². Selanjutnya daerah Jakarta Pusat ini akan digunakan sebagai data input model untuk melakukan studi tekno ekonomi, data ini akan digunakan sebagai *household density* sangat tinggi pada model.

Tabel 1 Jumlah KK, luas wilayah dan household density wilayah DKI Jakarta

No.	Wilayah	Jumlah Kepala Keluarga (Household)	Luas (km ²)	Household density
1	Kepulauan Seribu	7.264	11,81	615,072
2	Jakarta Pusat	359.490	48,08	7.476,913
3	Jakarta Utara	523.173	143,21	3.653,188
4	Jakarta Barat	701.493	127,71	5.492,859
5	Jakarta Selatan	653.066	145,73	4.481,342
6	Jakarta Timur	881.968	188,39	4.681,607



Gambar 4 Data kepadatan rumah tangga per km² di DKI Jakarta tahun 2014

Selanjutnya Jumlah total rumah tangga di area Jakarta pusat yaitu 359.490 yang dibulatkan menjadi **360.000** dimasukkan sebagai parameter pada model seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.

The screenshot shows the 'Inputs' section of a software interface. At the top, there are several tabs: 'Market', 'Service controls', 'Fibre inputs', 'Results amendment', 'Population', 'Density classes', and 'Existing network'. The 'Population' tab is currently selected. Below the tabs, there is a section for 'Households in region' with a slider and a text input field containing the value '360000'. At the bottom of this section, there are three buttons: 'Load Values', 'Save Values', and 'Run Model'. Below these buttons is a 'Show/Hide Inputs' button.

Gambar 5 Input data jumlah *household* di area Jakarta pusat.

Tahapan selanjutnya adalah membagi data kepadatan rumah tangga menjadi empat kelas kepadatan terpisah dengan data kepadatan sangat tinggi 7.476 dibulatkan menjadi **8.000 household**, kepadatan tinggi **5.000 household**, kepadatan sedang **1000 household** dan kepadatan rendah **250 household per km²** seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Selain itu juga ditentukan asumsi *household* tiap Gedung (**20 sangat tinggi, 10 kepadatan tinggi, 2 kepadatan sedang & 1 Kepadatan rendah**) dan *share household* pada tiap kelas kepadatan .

The screenshot shows the 'Inputs' section of a software interface, specifically the 'Density classes' tab. The interface is organized into a table with three columns: 'Household density per sq km', 'Households per building', and 'Share of households in density class'. There are four rows corresponding to different density classes: 'Very high density', 'High density', 'Medium density', and 'Low density'. Each row has three input fields with sliders and numerical values. Below the table, there are three buttons: 'Load Values', 'Save Values', and 'Run Model'. At the bottom, there is a 'Show/Hide Inputs' button.

Density Class	Household density per sq km	Households per building	Share of households in density class
Very high density	3000	20.0	0.1
High density	5000	10.0	0.7
Medium density	1000	2.0	0.15
Low density	250	1.0	0.05

Gambar 6 Input data pembagian kelas *household density*

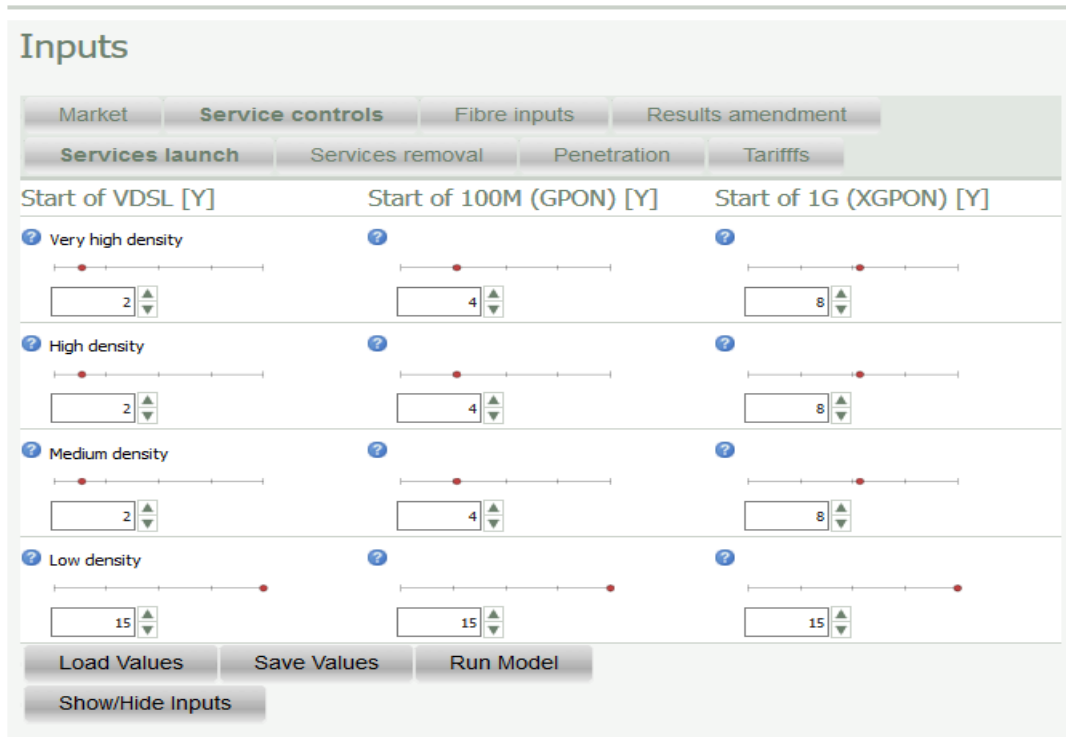
Input berikutnya adalah memasukan parameter jaringan eksisting dan menentukan jumlah rumah tangga (*household*) yang dilayani untuk tiap kotak sambung *street cabinet* pada tiap-tiap kelas kepadatan *household*. Untuk parameter jaringan eksisting digunakan jumlah sentral (CO) yang ada di area tersebut dalam kasus ini di Jakarta pusat terdapat 4 CO Telkom. CO akan digunakan untuk menginstal OLT yang juga diasumsikan sebagai *feeder fiber* untuk VDSL. Sedangkan jumlah *household* yang dilayani untuk tiap *street cabinet* adalah 400 untuk kelas kepadatan sangat tinggi dan tinggi, 300 untuk kelas

kepadatan, dan 200 untuk kelas kepadatan rendah (data dari Telkom), seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7.

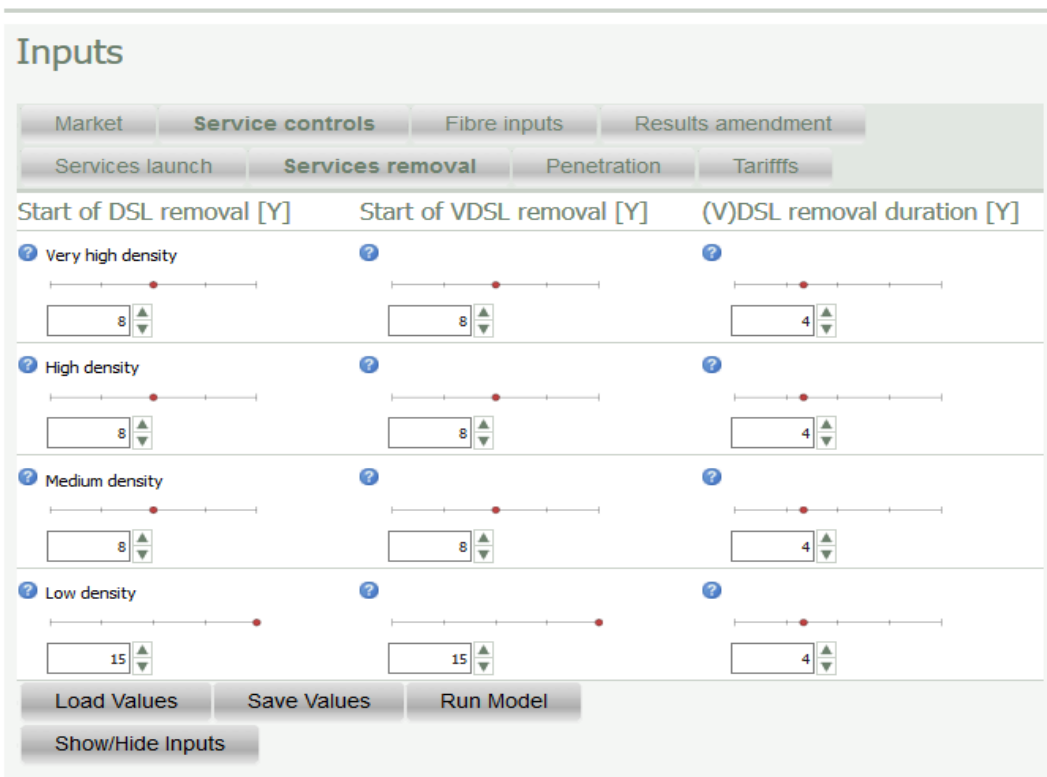
Gambar 7 Input data parameter jaringan eksisting

3.2.2 Peluncuran, Penghapusan dan Penetrasi Layanan

Waktu dan prioritas peluncuran, penghapusan serta penetrasi layanan diatur sedemikian rupa sesuai dengan migrasi yang direncanakan untuk kelas kepadatan pelanggan (household density) yang berbeda. Untuk peluncuran layanan VDSL, GPON dan XGPON prioritas pada model di set dengan nilai antara 0 sampai 15 dimana nilai 0 menunjukan layanan akan diluncurkan segera sedangkan nilai 15 menunjukan bahwa layanan tidak akan diluncurkan. Gambar 8 memperlihatkan prioritas peluncuran layanan VDSL, GPON dan XGPON pada kelas densitas kepadatan rumah tangga yang berbeda sesuai dengan rencana migrasi yang akan dilakukan. Sedangkan untuk penghapusan layanan di perlihatkan pada Gambar 9. *Removal duration* menunjukan pengurangan secara linear penetrasi layanan dari waktu ke waktu pada proses penghapusan layanan.



Gambar 8 Prioritas peluncuran layanan pada kelas densitas rumah tangga (household density) yang berbeda



Gambar 9 Prioritas penghapusan layanan layanan pada kelas densitas rumah tangga (household density) yang berbeda.

Gambar 10 menunjukkan input untuk *sharing* rumah tangga yang dilayani oleh jaringan kabel optik dan tembaga serta penetrasi layanan broadband dari tahun ke tahun dalam masa migrasi dan pengembangan layanan. Tidak semua rumah tangga di area tertentu potensial untuk layanan broadband. Input ini memungkinkan misalnya mengecualikan daerah-daerah terpencil. Penetrasi layanan broadband diasumsikan mengalami peningkatan tiap tahun, Ini adalah total penetrasi yang diharapkan dapat dicapai oleh ke empat layanan (DSL / VDSL / GPON / XGPON).

The screenshot shows a web-based input interface for a model. It has a title 'Inputs' and several tabs: 'Market', 'Service controls', 'Fibre inputs', 'Results amendment', 'Services launch', 'Services removal', 'Penetration', and 'Tariffs'. The 'Penetration' tab is active.

Share of households served by copper and fibre

This section contains four sliders, each with a radio button and a numeric input field. All sliders are set to 0.9.

- Very high density: 0.9
- High density: 0.9
- Medium density: 0.9
- Low density: 0.9

Broadband penetration

This section contains four tables, one for each density level. Each table has columns for years Y1 through Y7.

Density	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
Very high density	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.5
High density	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.5
Medium density	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.5
Low density	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.5

Service takeover - rate relative to launch

This section contains one table with columns for years Y0 through Y10.

Service	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y10
All services	0	0.3	0.5	0.7	0.85	0.9	0.99

At the bottom, there are buttons for 'Load Values', 'Save Values', 'Run Model', and 'Show/Hide Inputs'.

Gambar 10 Input data penetrasi layanan

3.2.3 Fiber Input

Masukan parameter untuk kabel optik terdiri dari kabel optik pengumpan (*feeder fibre*), kabel optik distribusi, *cable trench*, dan *fibre drops*. Seperti diperlihatkan pada Gambar 11, nilai 0.7 adalah bagian penggunaan kabel optik sendiri (data asumsi) dan sisanya didukung oleh kabel optik sewa. Parameter *CAPEX own cable* hanya meupakan biaya kabel (*data yang berlaku saat ini Eropa*) sedangkan biaya *cable trench* (saluran kabel/parit) dipertimbangkan secara terpisah, biaya ini umumnya digunakan dengan jaringan distribusi kabel optik.

Gambar 11 Input data parameter jaringan optik pengumpan

Pada jaringan distribusi kabel optik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12, besarnya sharing kabel disesuaikan dengan kelas kepadatan rumah tangga pada suatu area. Sementara itu untuk kabel aerial tidak ada sharing untuk semua kelas kepadatan rumah tangga. Sedangkan untuk saluran sewa (*leased duct*) hanya berlaku untuk daerah dengan kelas kepadatan sangat tinggi dan tinggi. Data tersebut adalah data pilihan Default dari STEM.

The screenshot shows the 'Inputs' section for 'Distribution fibre'. It features a navigation bar with 'Fibre inputs' selected. Below are sub-sections: 'Share own cable in ground', 'Share own cable aerial', and 'Share own cable in leased duct'. Each sub-section has four rows for density levels: 'Very high density', 'High density', 'Medium density', and 'Low density'. Each row contains a slider and a numeric input field. The values are as follows:

Density	Share own cable in ground	Share own cable aerial	Share own cable in leased duct
Very high density	0.25	0.0	0.25
High density	0.25	0.0	0.25
Medium density	0.5	0.0	0.0
Low density	0.5	0.0	0.0

At the bottom, there is a note: 'Remaining share is leased fibre'. Below the note are buttons for 'Load Values', 'Save Values', 'Run Model', and 'Show/Hide Inputs'.

Gambar 12 Input data parameter jaringan distribusi kabel optic

The screenshot shows the 'Inputs' section for 'Trench for cables'. It features a navigation bar with 'Trench for cables' selected. Below is the 'Capex [€/m]' section with four rows for density levels: 'Very high density', 'High density', 'Medium density', and 'Low density'. Each row contains a slider and a numeric input field. The values are as follows:

Density	Capex [€/m]
Very high density	200.0
High density	100.0
Medium density	50.0
Low density	35.0

At the bottom, there are buttons for 'Load Values', 'Save Values', 'Run Model', and 'Show/Hide Inputs'.

Gambar 13 Input data parameter biaya *cable trench* tiap kelas kepadatan

Parameter input biaya *cable trench* (saluran kabel/parit) per meter di perlihatkan pada Gambar 13. Biaya tersebut berbeda cukup signifikan untuk tiap kelas kepadatan rumah tangga. Walaupun demikian biaya *cable trench* tersebut hanya merupakan perkiraan saat ini yang berlaku di eropa dan tentu saja akan berubah setiap tahunnya sesuai dengan perubahan ekonomi yang terjadi.

The screenshot shows a web-based configuration interface titled "Inputs". At the top, there are navigation tabs: "Market", "Service controls", "Fibre inputs" (which is active), and "Results amendment". Below these are sub-tabs: "Feeder fibre", "Distribution fibre", "Trench for cables", and "Fibre drops".

The main configuration area is divided into three sections:

- Share of drop in ground (the remaining share is supported by aerial cable):** This section contains four rows, each representing a different density level: "Very high density", "High density", "Medium density", and "Low density". Each row has a slider and an input box, all of which are currently set to the value "1.0".
- Capex [€/m]:** This section contains two rows: "Drop in ground (incl. digging)" with a value of "100.0", and "Drop aerial (incl. poles)" with a value of "50.0".
- Building cost (available only in desktop version):** This section is currently empty.

At the bottom of the interface, there are four buttons: "Load Values", "Save Values", "Run Model", and "Show/Hide Inputs".

Gambar 14 Input data parameter jaringan *fibre drops*

Untuk input parameter biaya jaringan kabel optik ke pelanggan (*fibre drops*) diperlihatkan pada Gambar 14, sisanya didukung oleh *aerial drops*. Untuk penyederhanaan dibuat identik untuk semua ke empat kelas kepadatan rumah tangga yang berbeda. (*Data ini adalah data yang berlaku saat ini di eropa*)

4. HASIL DAN ANALISA PENELITIAN

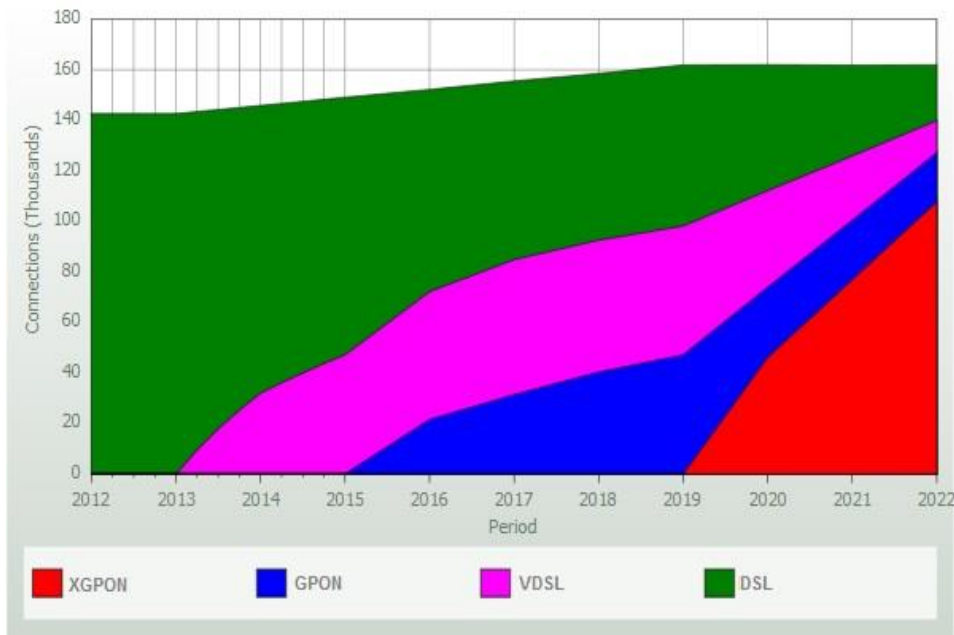
Teknologi jaringan optik pasif (PON) membawa sebuah evolusi dalam industri telekomunikasi untuk penyediaan layanan internet berkecepatan tinggi dan triple play yang dibundle mencakup voice, data, dan video streaming. Di Indonesia saat ini operator menawarkan layanan broadband yang sebagian besar berbasis jaringan tembaga tradisional yang dimulai sekitar tahun 2000.

Dengan meningkatnya permintaan yang cepat terhadap akses internet kecepatan tinggi dan broadband, menjadi pendorong yang kuat akan sebuah kebutuhan untuk bermigrasi dari jaringan berbasis tembaga tradisional ke infrastruktur jaringan FTTx (GPON dan XGPON). Dengan mempertimbangkan kelas densitas kepadatan rumah tangga pada suatu area diperlukan skalabilitas jaringan optik yang dapat dioptimalkan sesuai kebutuhan pengguna dengan efisiensi bandwidth kecepatan tinggi, yang melibatkan kerugian minimum dan dengan belanja modal (Capex) yang ideal.

Dalam kajian ini platform untuk migrasi dari jaringan berbasis tembaga ke jaringan akses berbasis fiber dengan teknologi GPON dan XGPON dimana infrastruktur dioptimalkan untuk area dengan membagi kelas kepadatan rumah tangga (household density) menjadi empat kelas kepadatan menggunakan *Strategic Telecoms Evaluation Model* (STEM) yang dikembangkan oleh Implied Logic. Di negara berkembang seperti Indonesia yang memiliki topologi, budaya dan kondisi geografis yang hamper sama, platform ini dapat digunakan untuk bermigrasi dari jaringan tembaga ke jaringan akses berbasis fiber dalam menyediakan layanan telekomunikasi berbasis PON. Pada pemodelan ini telah dipilih area tertentu dengan data kelas kepadatan yang telah dibagi menjadi empat kelas, beberapa parameter rencana faktual dimasukkan kedalam model sehingga hasilnya dapat membantu operator untuk menganalisis pilihan teknologi, ekonomi (finansial) dan perencanaan jaringan yang optimal seiring dengan waktu dan penyebaran yang efisien.

4.1 LAYANAN TIAP BASIS JARINGAN AKSES

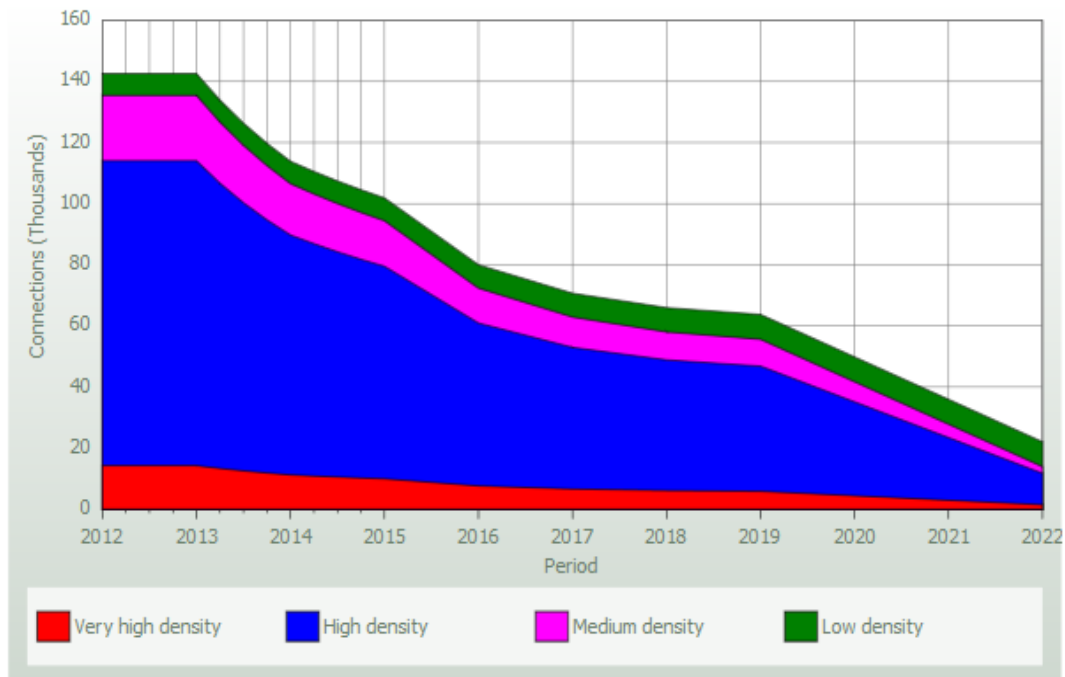
Berdasarkan hasil keluaran model, gambaran umum layanan tiap basis jaringan akses selama sepuluh (10) tahun periode migrasi diperlihatkan pada Gambar 15. Pada gambar tersebut terlihat jumlah sambungan layanan atau koneksi DSL dan VDSL akan mengalami pengurangan jumlah sambungan secara gradual dan digantikan oleh teknologi GPON mulai tahun 2015 yang kemudian diikuti oleh teknologi XGPON pada tahun 2019. Di tahun 2019 teknologi XGPON mulai diluncurkan sebagai pengembangan dari GPON, akhir periode tahun 2022 jumlah sambungan XGPON diperkirakan sekitar 110.000 sambungan, GPON 20.000 sambungan, VDSL 10.000 sambungan dan DSL 20.000 sambungan, dengan demikian sekitar 81.25% sambungan dari total jumlah sambungan sudah berbasis jaringan kabel optik.



Gambar 15 Jumlah koneksi berdasarkan teknologi akses pada tahap migrasi

4.1.1 Layanan Koneksi DSL

Digital Subscriber Line (DSL) adalah teknologi jaringan akses dengan perangkat khusus pada sentral (CO) dan pelanggan yang memungkinkan transmisi broadband melalui kabel tembaga. Teknologi DSL ini membawa kedua sinyal analog serta digital pada satu kabel. Sinyal digital untuk komunikasi data sementara sinyal analog untuk komunikasi suara seperti halnya yang digunakan telepon saat ini yang disebut sebagai POTS (Plain Old Telephone System).



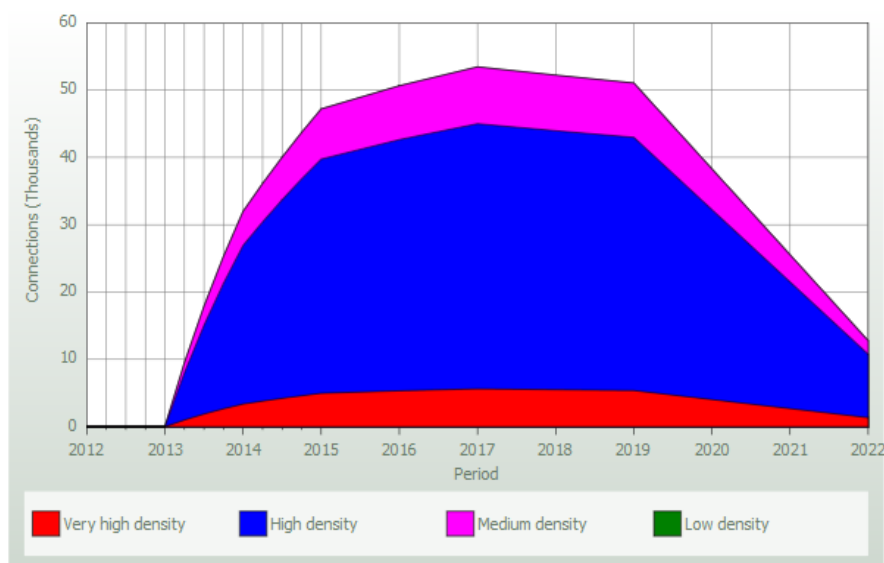
Gambar 16 Koneksi DSL pada empat kelas kepadatan berbeda

Pada skenario migrasi jaringan berbasis kabel tembaga ke jaringan berbasis kabel optik, tingkat kepadatan rumah tangga (*household density*) di Jakarta pusat dibagi menjadi empat kelas yaitu; densitas sangat tinggi 8.000 *household*, kepadatan tinggi 5.000 *household*, kepadatan sedang 1000 *household* dan kepadatan rendah 250 *household* per km². Output model untuk jumlah sambungan layanan DSL pada empat kelas kepadatan tersebut diperlihatkan pada Gambar 16.

Seperti terlihat pada Gambar 16, untuk daerah dengan kepadatan sangat tinggi, tinggi dan menengah jumlah sambungan layanan DSL menurun seiring dengan implementasi jaringan berbasis kabel optik GPON dan XGPON. Hal ini berhubungan potensi pasar pelanggan di daerah tersebut dan untuk efisiensi belanja modal bagi operator dalam melakukan penggelaran layanan baru berbasis kabel optik.

4.1.2 Layanan Koneksi VDSL

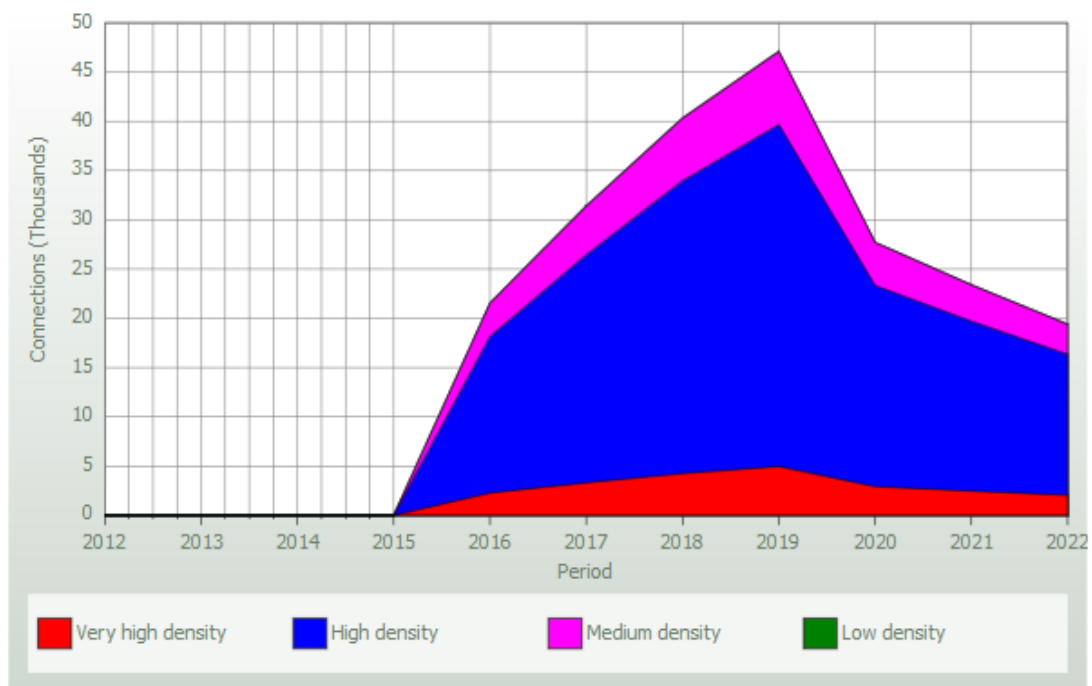
Very High Bit rate Digital Subscriber Line (VDSL) adalah perangkat aktif di jaringan akses pelanggan yang dipergunakan untuk mendukung implementasi layanan multimedia pada jaringan broadband dengan menggunakan kabel tembaga. Kapasitas transmisi VDSL jauh lebih besar dari pada DSL namun jarak jangkauannya relatif lebih pendek. Implementasi jaringan VDSL merupakan pengembangan dari teknologi DSL dan jaringan tembaga yang ada untuk memenuhi kebutuhan bandwidth yang meningkat namun tetap menggunakan jaringan tembaga yang sudah ada. Seperti terlihat pada Gambar 17, pada daerah dengan kepadatan sangat tinggi, tinggi dan menengah jumlah sambungan layanan VDSL meningkat sampai pertengahan periode 10 tahun dalam skema migrasi yang dimodelkan dimana pada masa tersebut pembangunan infrastruktur optik untuk teknologi GPON telah dilakukan tetapi layanan ke pelanggan belum sepenuhnya berjalan. Setelah itu jumlah sambungan VDSL menurun digantikan oleh GPON dan XGPON.



Gambar 17 Koneksi VDSL pada empat kelas kepadatan berbeda

4.1.3 Layanan Koneksi GPON

Keterbatasan jaringan akses tembaga di nilai belum cukup dan mampu menampung kapasitas *bandwidth* yang besar dengan kecepatan tinggi, maka diperlukan infrastruktur jaringan baru menggunakan fiber optik untuk meningkatkan kualitas dan kapasitas layanan. Seperti yang ditunjukkan output model pada Gambar 18, pada tahun 2015 operator melakukan migrasi jaringan akses tembaga menjadi jaringan akses *fiber optik* sampai ke rumah-rumah menggunakan teknologi GPON untuk jaringan FTTH. *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) adalah salah satu teknologi dari beberapa teknologi sistem komunikasi serat optik.



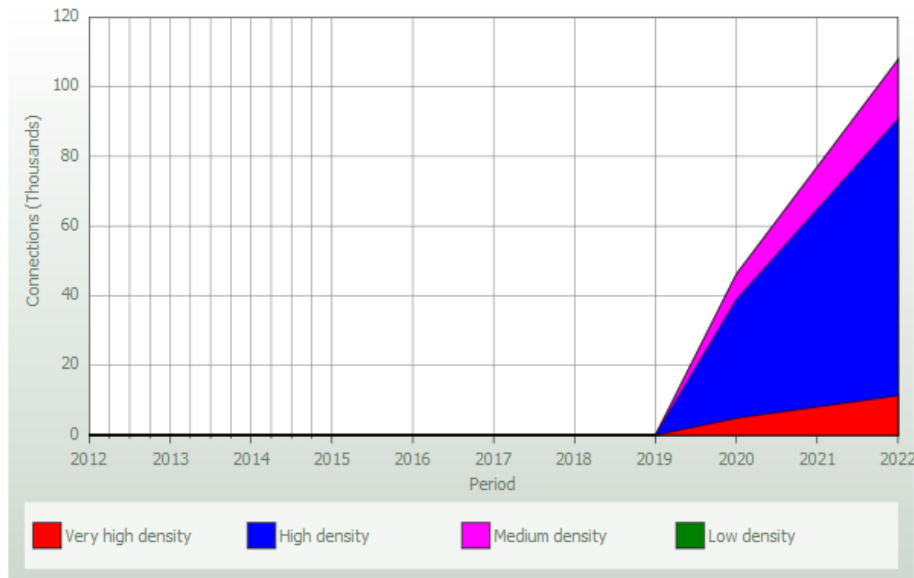
Gambar 18 Koneksi GPON pada empat kelas kepadatan berbeda

Daerah dengan kelas kepadatan tinggi menjadi penyumbang terbesar dalam jumlah sambungan teknologi GPON ke pelanggan diikuti oleh daerah dengan kepadatan sangat tinggi dan menengah (lihat Gambar 4.4), dengan estimasi total sambungan sekitar 45.000 sambungan pelanggan pada tahun 2019. Sedangkan untuk daerah dengan kelas kepadatan rendah masih dilayani oleh jaringan lama dengan teknologi DSL karena tidak ekonomis untuk migrasi ke layanan berbasis fiber optik.

4.1.4 Layanan Koneksi XGPON

Pada tahun 2009, FSAN mulai mengerjakan standar GPON generasi berikutnya yang disebut sebagai 10 *Gigabit-capable Passive Optical Network* (XGPON). Parameter sistem XGPON lainnya diharapkan sama atau menjadi lebih baik daripada seri GPON ITU-T G.984. Standar XGPON atau dikenal juga sebagai NG-PON1 rekomendasi ITU-T G.987 pada tahun 2010 dengan kecepatan

10 Gbps downstream dan 2.5 Gbps upstream. Pada teknologi ini diperlukan penggantian CPE dan peralatan sentral tetapi jaringan kabel optik tetap tidak berubah.

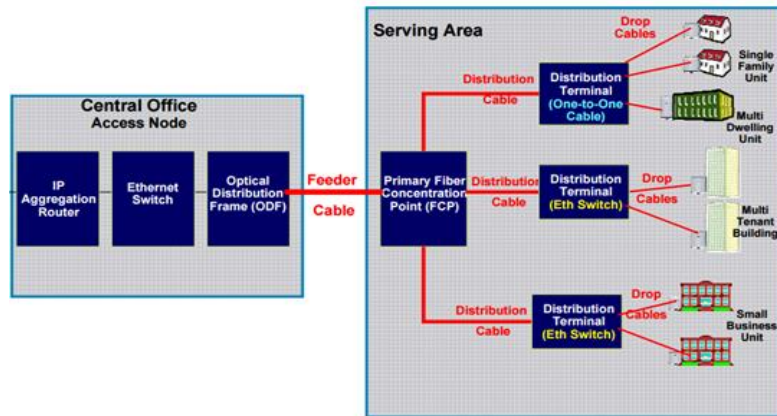


Gambar 19 Koneksi XGPON pada empat kelas kepadatan berbeda

Seperti ditunjukkan pada Gambar 19, pada tahun 2019 layanan XGPON mulai di implementasikan sebagai kelanjutan pengembangan dari GPON untuk layanan jaringan akses berbasis fiber optik. Untuk daerah dengan kepadatan rumah tangga sangat tinggi, tinggi dan sedang setelah migrasi ke teknologi GPON pada tahun 2015 akan dilanjutkan ke tahap berikutnya dengan implementasi teknologi XGPON sebagai generasi berikutnya dari GPON.

4.2 SINERGI JARINGAN VDSL DAN PON

Jaringan kabel akses *Out Side Plant* (OSP) dapat dikategorikan menjadi tiga segmen, yaitu kabel feeder, kabel distribusi, kabel drop. Gambar 20 memberikan gambaran sederhana elemen dari infrastruktur jaringan optik.

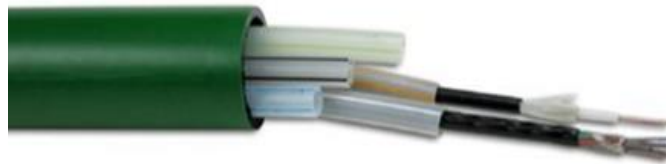


Gambar 20 Kabel feeder, distribusi dan drop

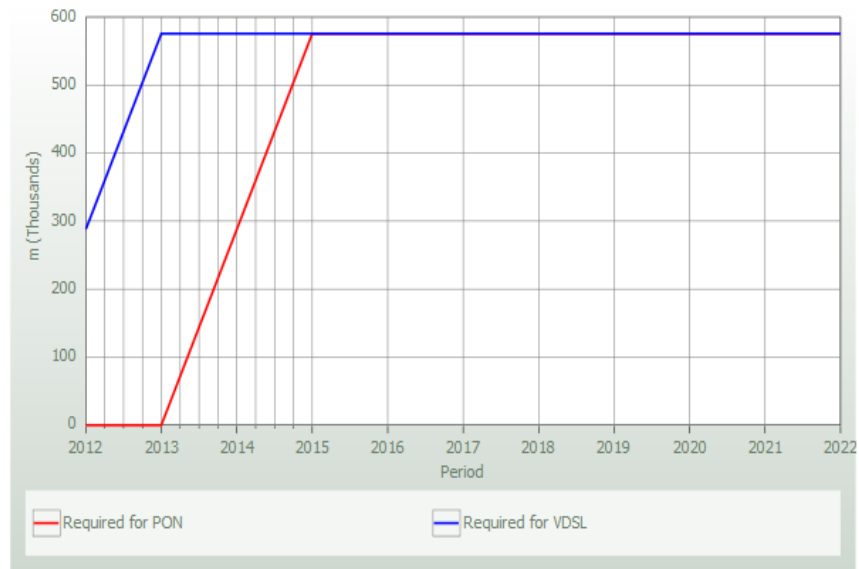
Seperti diperlihatkan Gambar 20, kabel pengumpan (feeder) biasanya menghubungkan antara *access node* di CO ke *fiber concentration point* (FCP) untuk menyediakan kapasitas fiber optik yang diperlukan dalam melayani area pelanggan FTTx dengan jarak beberapa kilometer. Kabel distribusi hanya mencakup jarak kurang dari 1 km dari FCP. Sementara itu kabel drop akan membentuk link eksternal akhir untuk pelanggan yang menghubungkan terminal distribusi ke gedung pelanggan dengan jarak terbatas kurang dari 500 m tergantung kepadatan rumah tangga pada area yang dilayani.

4.2.1 Kebutuhan Jaringan Optik Pengumpan

Dalam jaringan FTTx, kabel pengumpan biasanya dihubungkan sebagai topologi ring memanjang dari kantor pusat ke *local convergence point* (LCP) untuk menyediakan koneksi ke satu atau lebih kabel distribusi. Sebuah kabel pengumpan tunggal biasanya melayani beberapa kabel distribusi untuk meminimalkan jumlah kabel optik sehingga akan mengefisienkan biaya awal pemasangan jaringan optik. Kabel ini, juga disebut kabel batang, menawarkan kepadatan kemasan tertinggi. Kabel optik yang digunakan sebagai pengumpan biasanya menggunakan struktur cincin, yang memudahkan untuk perluasan area cakupan dengan tetap menjamin keamanan jaringan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 21.

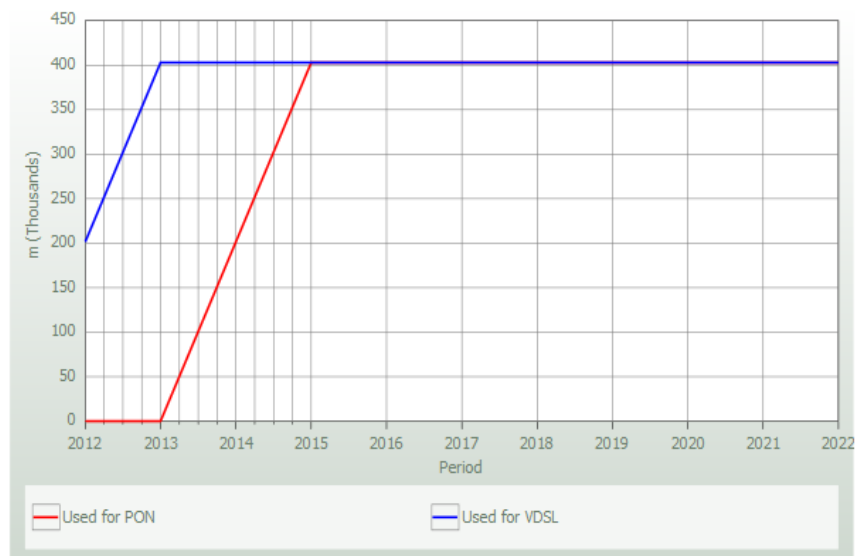


Gambar 21 Kabel optik pengumpan



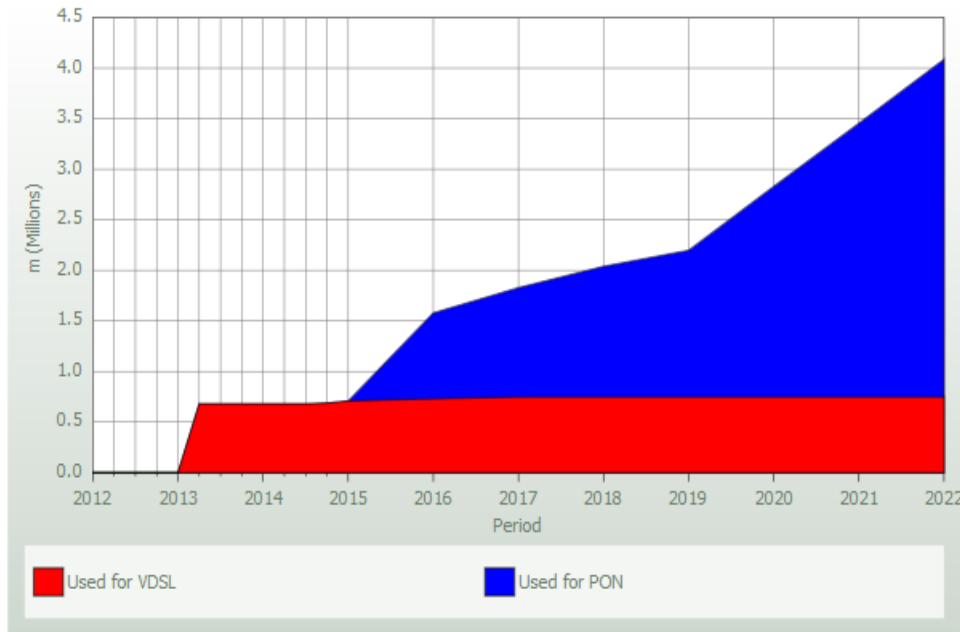
Gambar 22 Kebutuhan kabel optik pengumpan untuk PON dan VDSL

Dari hasil perhitungan estimasi model kebutuhan kabel optic untuk jaringan pengumpan VDSL dan PON seperti yang diperlihatkan Gambar 22. Kebutuhan tersebut dipenuhi oleh kabel pengumpan milik operator sendiri dan sewa. Untuk VDSL diawal tahun penyiapan infrastruktur dibutuhkan sekitar 280 ribu meter kabel optic pengumpan dan selanjutnya kebutuhannya tetap yaitu sekitar 580 ribu meter setiap tahun. Sedangkan untuk PON pada masa persiapan infrastruktur selama dua tahun penggelaran layanan pada tahun 2015 dibutuhkan sekitar 290 ribu meter per tahun dan selanjutnya tetap sekitar 580 ribu meter setiap tahun.



Gambar 23 Kebutuhan kabel optik pengumpan milik sendiri

Dari total kebutuhan jaringan kabel optic pengumpan yang disebutkan diatas, terbagi menjadi dua bagian yaitu 70% kabel optic pengumpan milik sendiri seperti yang diperlihatkan pada Gambar 23 dan sisanya yaitu 30% kabel optic pengumpan sewa yang ditunjukkan pada Gambar 24.



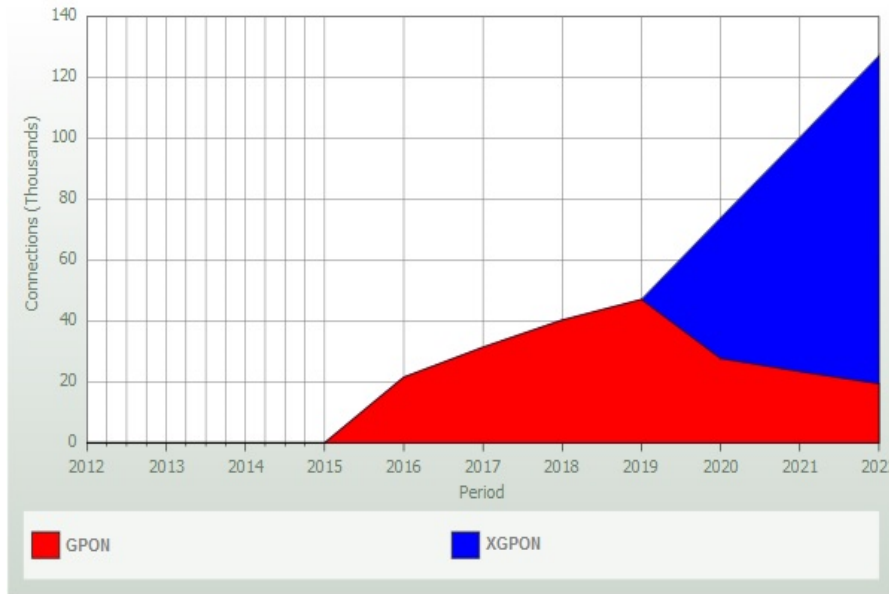
Gambar 24 Panjang fiber optik pengumpan sewa

4.3 PELUNCURAN PON

4.3.1 Layanan Berbasis Kabel Optik

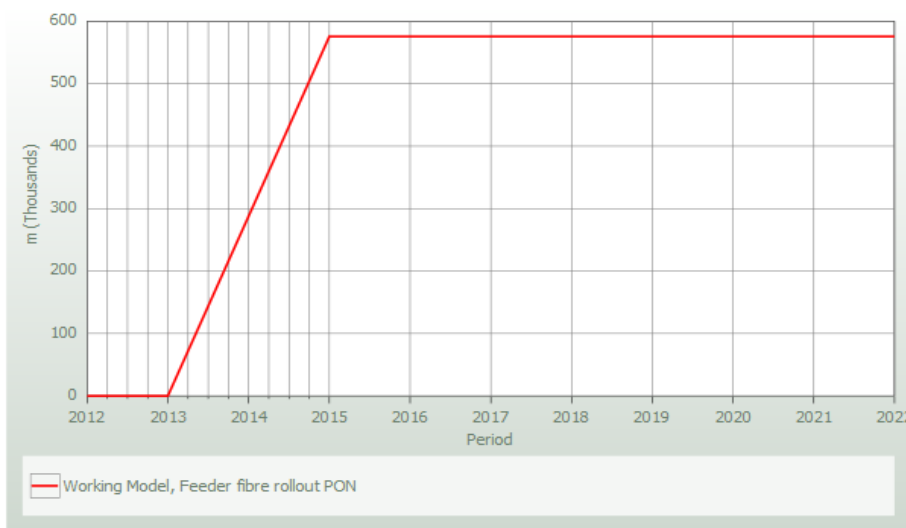
Teknologi layanan berbasis kabel optic yang akan digelar adalah GPON dan XGPON. Layanan GPON diluncurkan pada tahun 2015 dimana dua tahun sebelum peluncuran pembangunan infrastruktur jaringan optik telah dilakukan. Setelah empat tahun kemudian pengembangan teknologi jaringan akses dilanjutkan dengan peluncuran layanan berbasis teknologi XGPON yang merupakan pengembangan dari teknologi GPON.

Jumlah sambungan layanan berbasis kabel optic GPON dan XGPON hasil pemodelan pada area Jakarta pusat diperlihatkan pada Gambar 25. Pada gambar tersebut diperlihatkan jumlah sambungan layanan GPON pada tahun 2019 sekitar 450.000 sambungan kemudian menurun karena disubstitusi oleh layanan XGPON yang baru diluncurkan. Pada akhir proyeksi jumlah sambungan layanan berbasis PON yaitu pada tahun 2022 jumlah sambungan layanan GPON sekitar 20.000 sambungan dan layanan XGPON sekitar 120.000 sambungan. Dari total layanan berbasis optik di akhir 2022 diproyeksikan 14,28% dilayani oleh teknologi GPON dan sisanya 85,72% dilayani oleh teknologi XGPON.



Gambar 25 Layanan berbasis fiber optik

4.3.2 Panjang Jaringan Pengumpan PON



Gambar 26 Panjang fiber optik pengumpan PON

Kebutuhan kabel pengumpan untuk jaringan PON pertahun hasil pemodelan diperlihatkan pada Gambar 26. Pada gambar diperlihatkan kebutuhan kabel optik pengumpan selama masa persiapan penggelaran layanan dan penggelaran layanan setiap tahun.

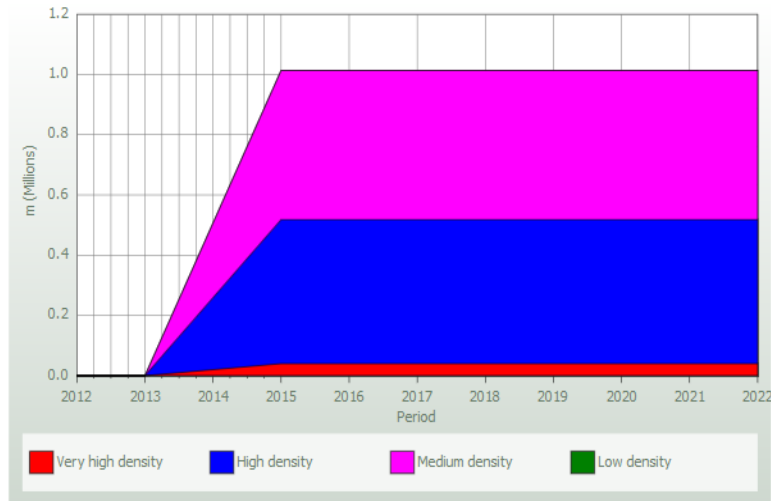
4.3.3 Panjang Jaringan Distribusi Optik

Kabel distribusi dalam jaringan optik menghubungkan mulai dari LCP (Local Convergence Point) menuju ke pintu masuk lingkungan pelanggan. Kabel ini membentuk hubungan antara sub-sistem kabel pengumpan dan sub-sistem

kabel drop. Kabel optik yang digunakan untuk distribusi diperlihatkan pada Gambar 27 dengan ukuran yang lebih kecil dan ringan. Topologi optimal yang diadopsi untuk jaringan distribusi ini adalah topologi pohon (tree).



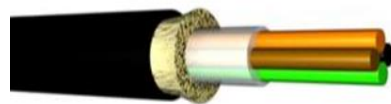
Gambar 27 Kabel optik distribusi



Gambar 28 Panjang fiber optik jaringan distribusi

Kebutuhan kabel optik distribusi untuk area yang dimodelkan (Jakarta pusat) untuk daerah dengan kelas kepadatan rumah tangga sangat tinggi, tinggi dan menengah diperlihatkan pada Gambar 28.

Sedangkan jaringan kabel drop menghubungkan *Network Access Point* (NAP) ke lokasi pelanggan. Drop kabel dirancang dengan fitur seperti fleksibilitas, ringan, diameter lebih kecil, kemudahan akses dan terminasi. Drop kabel hanya berisi 1 atau 2 fiber untuk sirkuit penghubung dan tambahan sebagai cadangan atau untuk alasan arsitektur jaringan lainnya. Kabel drop yang umum digunakan diperlihatkan pada Gambar 29.

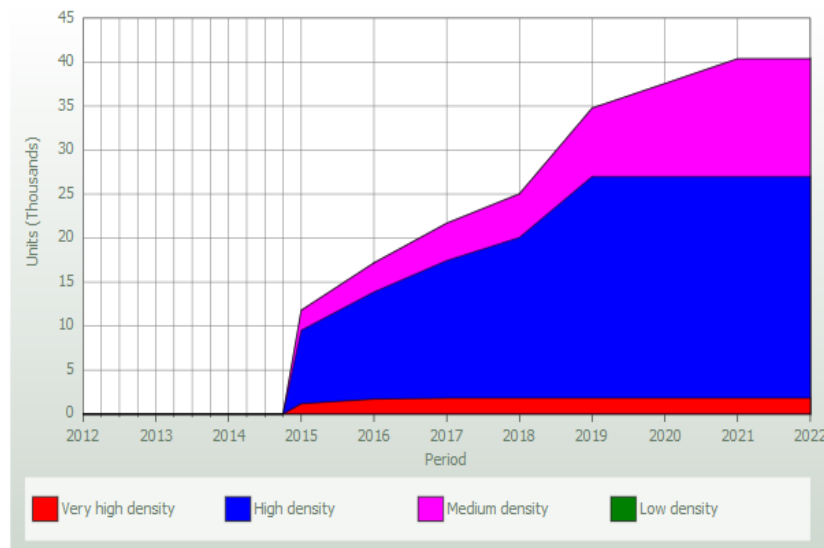


Gambar 29 Kabel optik drop

Hal terpenting yang harus diperhatikan bahwa kabel optik yang digunakan dalam jaringan sedemikian rupa sehingga tujuan yang efisien dalam disain, konstruksi, pemeliharaan dan operasi untuk FTTH-PON dapat tercapai. Oleh karena itu, pemilihan kabel serat optik yang tepat merupakan faktor kunci dalam rangka mengurangi biaya persediaan dan mempercepat proses instalasi pada sisi pelanggan.

4.3.4 Koneksi ke Bangunan (Gedung)

Jumlah koneksi layanan berbasis kabel optik untuk tiap daerah dengan dengan kelas kepadatan rumah tangga (household density) yang berbeda di area yang dimodelkan (Jakarta pusat) diperlihatkan pada Gambar 30. Seperti yang diperlihatkan pada gambar tersebut, daerah dengan kelas kepadatan rendah tidak dilayani oleh jaringan PON tetapi masih dimungkinkan untuk dilayani dengan teknologi berbasis jaringan kabel tembaga, hal ini berkaitan dengan keekonomian dalam penggelaran layanan. Daerah dengan kepadatan tinggi mendominasi jumlah sambungan layanan PON hingga diakhir tahun 2022 yang diproyeksikan sekitar 67,75% jumlah sambungan dari total sambungan layanan berbasis PON.



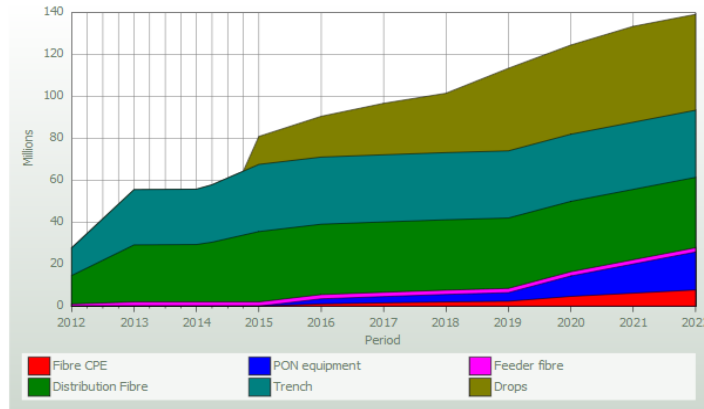
Gambar 30 Jumlah bangunan/gedung terhubung

4.4 ANALISA KEUANGAN

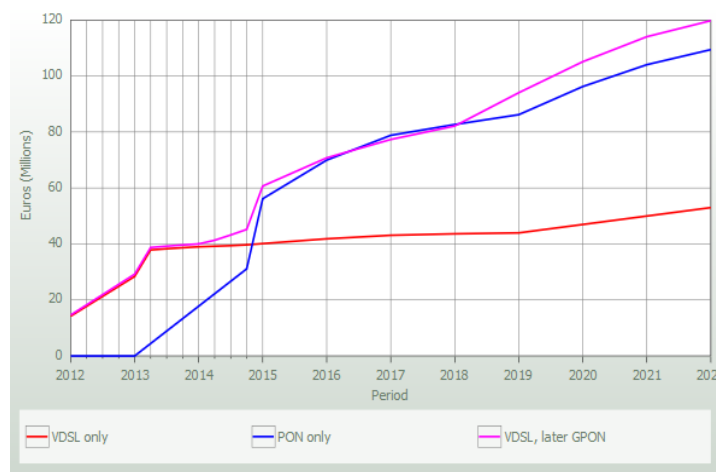
4.4.1 Capital Expenditure (Capex)

Capital expenditure adalah alokasi yang direncanakan (dalam budget) untuk melakukan pembelian/perbaikan/penggantian segala sesuatu yang dikategorikan sebagai aset perusahaan secara akuntansi. Tidak semua perusahaan menggunakan *capital expenditure* dalam budget, umumnya perusahaan yang menggunakan Capex dalam budget adalah perusahaan yang telah memiliki basis konsumen jangka panjang maupun jangka pendek (namun stabil) serta menggunakan modal dalam jumlah yang besar seperti halnya perusahaan telekomunikasi.

Capex kumulatif untuk migrasi layanan berbasis kabel tembaga ke layanan kabel optik di daerah Jakarta pusat dengan empat kelas kepadatan rumah tangga diperlihatkan pada Gambar 31, pada gambar tersebut diperlihatkan Capex kumulatif untuk fiber CPE, peralatan PON, fiber pengumpan, fiber distribusi, *trench* dan *drops*. Besarnya belanja modal (milyar Euro) pertahun untuk komponen jaringan akses didominasi oleh fiber distribusi, *trench* dan *drops*.



Gambar 31 Capex kumulatif

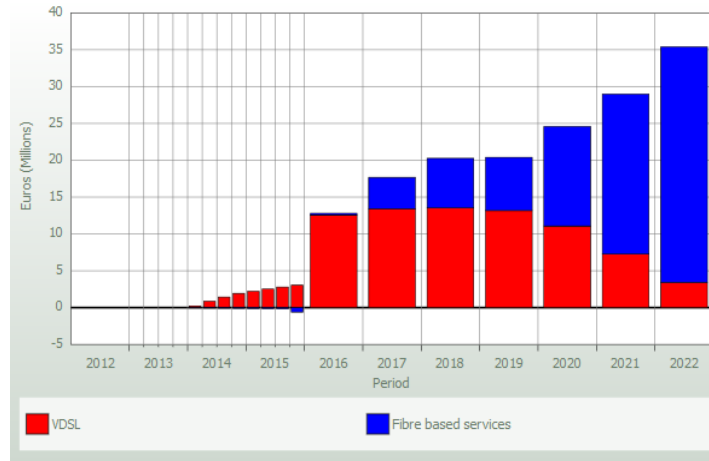


Gambar 32 Capex kumulatif berdasarkan pilihan teknologi

Gambar 32 memperlihatkan belanja model (Capex) kumulatif dalam milyar Euro berdasarkan pilihan atau opsi teknologi yang akan diimplementasikan. Opsi implementasi teknologi pada migrasi jaringan akses pertama adalah hanya teknologi VDSL, opsi kedua hanya teknologi PON dan opsi ketiga awalnya menggunakan teknologi VDSL yang kemudian dikembangkan ke GPON.

4.4.2 Keuntungan Operasional Layanan

Keuntungan operasional adalah keuntungan atau laba yang diperoleh dari operasi bisnis inti normal perusahaan. Nilai ini tidak termasuk keuntungan yang diperoleh dari investasi perusahaan dan efek dari bunga dan pajak. Laba operasi berbeda dari margin laba usaha (juga dikenal sebagai margin operasi). Margin laba usaha membandingkan efisiensi aktivitas perusahaan dengan para pesaingnya. Untuk menghitung margin operasi, laba usaha dibagi dengan total penjualan. Seperti halnya margin laba kotor, margin laba usaha hanya berguna untuk perusahaan sejenis, karena sebagian besar industri menghadapi faktor ekonomi yang berbeda dan cenderung memiliki standar mereka sendiri untuk margin operasi yang baik.

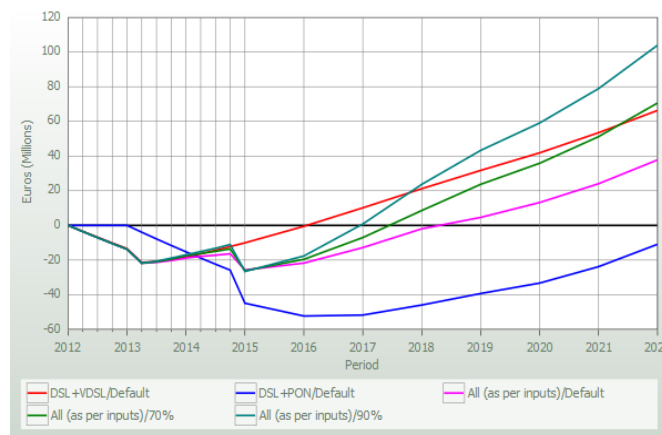


Gambar 33 Keuntungan (profit) operasi layanan

Gambar 33 memperlihatkan keuntungan operasional untuk layanan VDSL dan layanan berbasis kabel optik. Diawal peluncuran layanan berbasis kabel optic pada tahun 2015 keuntungan yang diperoleh masih negatif dan kemudian berangsur-angsur meningkat mensubtitusi keuntungan dari layanan VDSL sesuai dengan proyeksi jumlah sambungan yang terlayani dengan layanan GPON dan XGPON.

4.4.3 NPV dengan Pilihan Teknologi dan Penetrasi Broadband

Net Present Value (NPV) merupakan selisih antara pengeluaran dan pemasukan yang telah didiskon dengan menggunakan *social opportunity cost of capital* (SOCC) sebagai diskon faktor, atau dengan kata lain merupakan arus kas yang diperkirakan pada masa yang akan datang yang didiskontokan pada saat ini atau nilai bersih sekarang yang merupakan perbandingan antara PV kas bersih dengan PV Investasi selama umur investasi. Untuk menghitung NPV diperlukan data tentang perkiraan biaya investasi, biaya operasi, dan pemeliharaan serta perkiraan manfaat/benefit dari proyek yang direncanakan. Dengan demikian perhitungan NPV mengandalkan pada teknik arus kas yang didiskontokan.



Gambar 34 NPV dengan pilihan teknologi dan penetrasi broadband

Nilai NPV positif (lihat Gambar 34) menunjukkan bahwa proyeksi pendapatan yang dihasilkan oleh suatu proyek atau investasi (dalam euro saat ini) melebihi biaya yang diantisipasi. Dengan kata lain NPV yang positif memberikan gambaran bahwa Investasi yang akan dilakukan adalah *feasible* atau layak untuk dilakukan, begitu pula sebaliknya, jika nilai NPV adalah Negatif maka investasi tidak layak untuk dilakukan atau *unfeasible*. Umumnya, investasi dengan NPV positif akan menguntungkan dan NPV negatif akan mengakibatkan kerugian.

NPV berdasarkan pilihan teknologi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.20, terlihat untuk pilihan teknologi DSL yang dikembangkan ke VDSL nilai NPV adalah negatif pada empat tahun awal investasi, hal ini karena pengembangan jaringan akses dari DSL ke VDSL membutuhkan investasi infrastruktur, namun setelah layanan VDSL digelar dan sinergi dengan DSL yang telah ada nilai NPV adalah positif. Sedangkan untuk pilihan teknologi DSL yang dikembangkan ke PON nilai NPV negative cukup besar hingga tahun 2017, setelah itu nilai NPV berangsur-angsur menuju nilai positif sesuai dengan penggelaran layanan PON.

Untuk NPV berdasarkan penetrasi broadband dengan skema penetrasi standar, 70% dan 90% seperti diperlihatkan pada Gambar 34 nilai NPV akan positif pada tahun 2017 dan 2018.

Dari analisa menggunakan *Strategic Telecoms Evaluation Model* (STEM) untuk kajian tekno-ekonomi migrasi dari layanan berbasis kabel tembaga ke layanan berbasis fiber optik untuk area Jakarta Pusat adalah feasible. Migrasi jaringan akses ke teknologi fibre optik merupakan sebuah tuntutan kosumen atau pelanggan dengan berkembangnya layanan triple play selain dari pada itu jaringan eksisting berbasis tembaga juga sudah habis masa pakainya sehingga kemampuannya menurun dan membutuhkan biaya perawatan yang tinggi.

4.5 Summary Kajian Tekno Ekonomi xDSL & FTTx dengan STEM

No	STEM	xDSL	FTTx	Keterangan
1	Secara Tekno	Rentan terhadap gangguan frekuensi listrik dan radio, rentan terhadap penyadapan, tidak dapat mentransmisikan sinyal cahaya, dan kapasitas bandwidthnya yang kecil. Jika ingin di upgrade maka harus mengganti kabel yang ada.	Berukuran tipis dan berdiameter sehelai rambut manusia, dapat mentransmisikan sinyal cahaya, kapasitas bandwidth dan kecepatan transmisi yang sangat besar, mencapai terabyte, mudah untuk dibawa, serta tidak rentan terhadap gangguan frekuensi listrik. Kabel jaringan dengan mudah di Upgrade bahkan tanpa perlu mengubah system kabel yang ada	Layak
2	Secara Ekonomi	Untuk Investari harganya Relatif	Untuk Investasi harganya mahal termasuk	Layak

		murah, instalasinya mudah, mudah didapat, dan fleksibel, menggunakan satu medium untuk semua.	peralatan khusus untuk penyambungannya, serta konstruksinya yang lemah sehingga memerlukan lapisan penguat untuk proteksi.	
--	--	---	--	--

5. KESIMPULAN

Kajian tekno-ekonomi migrasi jaringan berbasis xDSL ke FTTx GPON di daerah perkotaan telah dilakukan. Daerah Jakarta Pusat diambil sebagai kasus dalam penelitian ini, daerah tersebut kemudian dibagi menjadi empat kelas kepadatan rumah tangga dan kemudian dimodelkan menggunakan STEM dengan menentukan beberapa parameter input terhadap model. Hasil kajian tekno-ekonomi, dengan beberapa opsi teknologi (DSL, VDSL, GPON dan XGPON), infrastruktur jaringan akses, penetrasi layanan, estimasi jumlah sambungan, belanja modal (capex) dan NPV untuk semua kelas kepadatan rumah tangga di area yang dimodelkan telah diperoleh.

Pada tahun 2015 diawal peluncuran layanan GPON jumlah sambungan adalah 100 ribu sambungan DSL dan 40 ribu sambungan VDSL. Pada tahun 2019 ketika teknologi XGPON diluncurkan jumlah sambungan DSL sekitar 70 ribu sambungan, VDSL sekitar 30 ribu sambungan dan GPON sekitar 40 ribu sambungan. Proyeksi setelah priode 10 tahun migrasi pada thuan 2022, DSL sekitar 30 ribu sambungan, VDSL sekitar 10 ribu sambungan, GPON sekitar 20 ribu sambungan, dan XGPON sekitar 90 ribu sambungan.

Investasi infrastruktur di awal terutama didorong oleh penggelaran kabel optik pengumpan dan distribusi. Selanjutnya koneksi ke bangunan (kabel optik drop) merupakan komponen utama sedangkan komponen aktif seperti CPE hanya memainkan peran kecil. Untuk kajian secara ekonomi nilai Capex kumulatif, Capek berdasarkan pilihan teknologi, keuntungan operasional layanan, dan NPV telah menunjukkan kelayakan secara ekonomi untuk migrasi jaringan kabel tembaga ke jaringan berbasis PON dengan skema pilihan teknologi dan estimasi penetrasi layanan broadband di area tersebut.

Dari hasil kajian tekno-ekonomi menunjukkan kelayakan baik secara teknologi ataupun ekonomi untuk migrasi dari jaringan berbasis kabel tembaga ke layanan berbasis kabel optik yang dapat digunakan operator untuk mendukung pengambilan keputusan dalam rangka migrasi jaringan akses tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. IDATE, "FTTx 2001 (2011) - Market & Trends, Facts & Figures," Montpellier Cedex 5, France.
- [2]. Mike Quigley (2010, April 30th), in Infrastructure Partnerships Australia group meeting, Brisbane.
- [3]. White paper (September 2005), "Fibre to the home", Funea broadband service bv, Version 01 September 2005.
- [4]. FTTH Council, Definition terms, revision date : January 9th, 2009, <http://www.ftthcouncilap.org>
- [5]. Umar Farooq, Sajid Bashir, Tauseef Tasneem, A.Saboor, A.Rauf (2015), "Migration from Copper to Fiber Access Network using Passive Optical Network for Green and Dry Field Areas of Pakistan", International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE), Vol.5 (4), pp.118-128.
- [6]. Juan Rendon Schneir and Yupeng Xiong (August 2014), "Cost Analysis of Network Sharing in FTTH/PON", IEEE Communications Magazine, Vol. 52, Issue 8, pp. 126-134.
- [7]. Samrat Kulkarni, Mohamed El-Sayed, Paul Gagen, Beth Polonsky, "FTTH network economics (2010): Key parameters impacting technology decisions", Infocommunications Journal, Vol. LXV.
- [8]. Tommaso Muciaccia, Fabio Gargano and Vittorio M. N. Passaro(2014), "Passive Optical Access Networks: State of the Art and Future Evolution", Photonics Journal, pp. 323-346.
- [9]. Affida M. Zin, Sevia M. Idrus, and Nadiatulhuda Zulkifli (2011), "The Characterization of Radio-over-Fiber Employed GPON Architecture for Wireless Distribution Network", International Journal of Machine Learning and Computing, Vol. 1, No. 5, pp. 522-527.
- [10]. Huawei Technologies (2014), "Huawei solution for networks migration", Tanzania.
- [11]. Fibre Sotre, "Comprehensive Understanding of FTTx Network", December, 17 2014, World Wide Web : <http://www.fs.com>
- [12]. Ossieur, X. Qiu, J. Bauwelinck, D. Verhulst, Y. Martens, J. Vandewege, and B. Stubbe (July 2003), "An overview of passive optical networks," in Proc. International Symposium on Signals, Circuits, and Systems, vol. 1, pp. 113-116.
- [13]. X. Qiu, P. Ossieur, J. Bauwelinck, Y. Yi, D. Verhulst, J. Vandewege, B. D. Vos, and P. Solina (November 2004), "Development of GPON upstream physical-media-dependent prototypes," IEEE J. Lightwave Technology, vol. 22, no. 11, pp. 2498-2508.
- [14]. S. Lallukka, and P. Raatikainen (December 2005), "Link utilization and comparison of EPON and GPON access network cost," in Proc. Global Telecommunication Conference (GLOBECOM), St. Louis, MO, USA, pp. 301-305.
- [15]. G. Kramer, G. Pesavento (February 2002), "Ethernet passive optical network (EPON): Building a next-generation optical access network," IEEE Communication Magazine, vol. 40, no. 2, pp. 66-73.

- [16]. ITU-T (2003), "General characteristics of gigabit-capable passive optical networks (GPON)," Recommendation G.984.1.
- [17]. ITU-T (2003), "Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Physical media dependent (PMD) layer specification," Recommendation G.984.2.
- [18]. P. Ossieur, D. Verhulst, Y. Martens, Wei Chen, J. Bauwelinck, Xing-Zhi Qiu, J. Vandewege (May 2005), "A 1.25-Gb/s burst-mode receiver for GPON applications," IEEE, J. Solid-State Circuits, vol. 40, no. 5, pp. 1180-1189.
- [19]. J. S. Shaik, and N. R. Patil, "FTTH deployment options for telecom operators," Sterlite Optical Technologies Ltd.
- [20]. "PON & FTTx update," (August 2005) Light Reading Inc.
- [21]. Implied Logic Limited, STEM Applications for Network-transformation-modelling, 20 April 2016, www.impliedlogic.com