

Membangun akses ethernet pada Jaringan Infrastruktur Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Standar ITU G.707

Sutrisno^a, TB Utomo^b

^a*Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012*
E-mail : sutrisno@polban.ac.id

^b**Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012**
E-mail : tb.utomo@gmail.com

ABSTRAK

Jaringan akses Ethernet pada jaringan infrastuktur *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH) atau lebih dikenal sebagai *Ethernet Over SDH* yaitu sekumpulan protokol-protokol yang memungkinkan trafik Ethernet dapat berjalan atau dibawa melalui jaringan digital dengan cara yang lebih efisien dan fleksibel. SDH telah menjadi landasan teknologi jaringan digital selama hampir dua dekade dan telah memberikan stabilitas, skalabilitas dan ekonomis yang memungkinkan perkembangan yang luar biasa dalam komunikasi, internet, aplikasi dan data. Ketika biaya investasi menjadi suatu kendala, para operator jaringan ingin tetap mempertahankan infrastruktur jaringan SDH yang sudah ada (existing) dalam menyediakan layanan Ethernet ke pada penyedia layanan (*service provider*). Pada penelitian tahun ke 1 (satu) ini, target penelitian adalah membangun sebuah prototipe jaringan akses Ethernet pada jaringan infrastuktur SDH) sebagai sebuah solusi alternatif kepada para operator jaringan dan penyedia layanan dalam memperoleh pendapatan tambahan dari sumber-sumber baru (*new stream of revenue*) dengan membuat inovasi layanan baru yang berbasis teknologi Ethernet. Metode yang digunakan berdasarkan skenario sebagai berikut yaitu pertama membangun jaringan infrastruktur berbasis teknologi SDH menggunakan saluran transmisi serat optic, kedua membangun akses Ethernet melalui sinyal tributary 2 Mbps menggunakan teknologi enkapsulasi (*Generic Framing Procedure, GFP*), pemetaan (*Virtual Concatenation, VCAT*) dan pengaturan kapasitas link (*Link Capacity Adjustment, LCA*). Prototipe jaringan akses Ethernet telah berhasil dibangun dan berdasarkan hasil pengujian *end to end performance* untuk satu sinyal tributary 2Mbit/s diperoleh nilai *throughput* sekitar 1,9 Mbit/s. Nilai ini lebih kecil dari data rate sinyal tributary 2Mbit/s, hal ini dikarenakan sebagian bit-bit digunakan untuk pemetaan pada waktu proses konversi dari sinyal digital ke sinyal Ethernet berlangsung.

Kata kunci:

Ethernet, SDH,GFP,VCAT,LCA

1. PENDAHULUAN

Infrastruktur telekomunikasi berbasis teknologi SDH dalam waktu yang relatif tidak lama lagi akan menjadi sebuah warisan teknologi lama. Meskipun hingga saat ini teknologi tersebut masih digunakan dan telah menjadi andalan dalam memberikan layanan transportasi data warisan teknologi lama (*legacy data*) hingga sekarang. Satu hal yang tidak dapat dihindari oleh para operator jaringan dan penyedia layanan adalah migrasi dari teknologi SDH yang ada ke teknologi berbasis Ethernet. Dari perspektif trafik, menurut *Vertical System* dan *Metro Ethernet Forum (MEF)*, lebar pita untuk layanan Ethernet telah melampaui lebar pita untuk layanan *legacy data* pada tahun 2012.

Dalam rangka migrasi dari layanan Wide Area Network (WAN) klasik berbasis teknologi PDH dan Frame Relay ke layanan WAN berbasis teknologi Ethernet, seperti pada *Metro Ethernet Over SONET/SDH* akan timbul isu-isu baru yang berkaitan dengan investasi yang sudah ditanamkan para operator jaringan (Network Operator) dan penyedia jasa layanan (Service Provider). Berdasarkan hal tersebut diatas, ada beberapa isu yang dapat dikemukakan sebagai berikut ; Isu pertama dan paling utama adalah terletak kepada bagaimana *Capital Expenditure (CAPEX)* dan *Operational Expenditure (OPEX)* yang telah ditanamkan pada jaringan SDH sekarang dapat membangkitkan sumber-sumber penghasilan baru (*new stream of revenue*), isu kedua yang harus juga dipertimbangkan adalah teknologi.

Pada saat ini layanan WAN yang sangat populer ialah layanan leased lines, Frame Relay (FR), dan ADSL based Virtual Private Network (VPN) dengan beberapa kekurangan dari layanan tersebut, antara lain; Frame Relay (FR) dapat menawarkan konektivitas ke semua titik (*multi point*) pada interfis tunggal, tetapi dalam meng-upgrade bandwidth masih membutuhkan perubahan fisik interfis pada router, dan skalabilitasnya pun terbatas, ADSL based Virtual Private Network (VPN) memiliki cakupan yang luas dan fleksibilitas yang tinggi, tetapi layanan dengan teknologi ini masih memiliki keterbatasan dalam bandwidth dan skalabilitas, dan tidak adanya jaminan level layanan.

Bandwidth yang diatur oleh Internet Protocol (IP) biasanya efisien dalam biaya pada volume trafik yang tinggi.

Para operator jaringan di seluruh dunia mulai mengurangi CAPEX dan mencoba mengoperasikan jaringan dan layanannya secara lebih efisien agar dapat memperoleh margin keuntungan yang lebih baik. Oleh karena itu, layanan WAN berbasis Ethernet menjadi sebuah pilihan yang tepat karena

berbagai alasan, bukan hanya efisiensi dalam biaya, potensi pasar untuk layanan WAN yang dikirim dengan interfis Ethernet sangat menjanjikan. Sehingga solusi untuk meningkatkan profitabilitas adalah dengan mendiversitas jaringan SDH yang ada dengan inovasi teknologi Ethernet yang merupakan state of the art teknologi jaringan masa kini

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Ethernet dan SDH merupakan sebuah terobosan teknologi yang sangat revolusioner untuk jaringan komputer dan telekomunikasi [1]. Ketika teknologi informasi dan komunikasi (TIK) bertemu (*convergence*), hal ini mendorong terbentuknya sebuah teknologi baru yang secara efisien dapat menggabungkan ke dua kata informasi dan komunikasi tersebut. Teknologi tersebut adalah teknologi SDH masa depan (*Next Generation SDH, NG-SDH*). Teknologi ini memberikan kehidupan baru bagi jaringan telekomunikasi berbasis teknologi SDH yang sekarang sudah ada (*exist*) yaitu memberikan layanan berbasis teknologi Ethernet yang didasarkan kepada tiga teknologi utama yaitu *General Framing Procedure (GFP)* [2] melaksanakan fungsi adopsi trafik sinyal Ethernet ke dalam jaringan transport signal digital SDH, *Virtual Concatenation (VCat)* [3] yang bertugas memisahkan trafik GFP yang telah diadopsi kedalam beberapa saluran yang berbeda pada jaringan SDH. *Link Capacity Adjustment Scheme (LCAS)* [4] berfungsi secara dinamis mengatur kapasitas saluran SDH menurut kebutuhan sumber (*source*) atau tujuan (*destination*). Jadi jaringan NG-SDH ini memiliki visi fleksibilitas, simplifisitas dalam hal kapasitas dan biaya. Oleh karena itu, teknologi jaringan NG-SDH ini banyak diadopsi oleh perusahaan telekomunikasi di metropolitan atau daerah yang jauh jaraknya. Banyak operator hanya membeli kartu ekspansi (*expansion card*) yang dipasang pada perangkat SDH yang sudah ada untuk memungkinkan proses enkapsulasi dan pemetaan trafik Ethernet ke dalam SDH.

2.2 Teknologi Ethernet

Ethernet adalah sebuah teknologi *connectionless packet-switching* yang didasarkan oleh sekumpulan spesifikasi, fungsi dan protokol-protokol pada lapisan fisik (*physical layer*) dan lapisan link data (*data link layer*) yang awalnya dikembangkan untuk jaringan komputer. Ethernet muncul pada tahun 1973 ketika itu Bob Metcalfe menuliskan memo yang menjelaskan tentang sebuah jaringan yang dapat menghubungkan komputer. Pada tahun 1976, Bob Metcalfe dan David Boggs mempublikasikan sebuah karya ilmiah tentang Ethernet [1]. Standar Ethernet

pertama kali dipublikasikan pada tahun 1980 oleh sebuah konsorsium DEC Intel-Xerox (DIX) [5]. Pada tahun 1985, komite standarisasi 802.3 dari Institute of Electrical and Electronics Engineering (IEEE) mempublikasikan standar dengan judul IEEE 802.3 Carrier Sense Multiple Access, with Collision Detection (CSMA/CD metode akses dan spesifikasi lapisan fisik [6].

Saat ini Ethernet menjadi teknologi yang paling dominan dalam jaringan komputer lokal (LAN) [7], [8]. Standar Ethernet IEEE 10 BASE-T [7] dapat menyediakan hingga kecepatan 10 Mbps pada sepasang kabel tembaga tanpa pelindung (unshielded twisted pair cable) dengan menggunakan baseband Manchester line coding [8]. Standar ini kemudian secara luas digunakan untuk mentransportasikan Internet Protocol (IP) data gram [9]. Sakalabilitas, simplifitas, dan biaya yang murah dari teknologi Ethernet dengan kecepatan data yang tinggi dan dukungan jaringan optic membawa banyak operator jaringan dan penyedia jasa layanan untuk mempertimbangkan Ethernet ke dalam jaringan MAN (Metropolitan Area Network) dan WAN [10]. Teknologi Ethernet membuka berbagai layanan yang berpotensi dapat menghasilkan keuntungan (potential revenue-generating services) sehingga operator jaringan dan penyedia layanan, harus berupaya untuk mempertahankan posisi mereka dalam persaingan ini. Akan tetapi, kebanyakan operator jaringan tidak siap untuk mengubah jaringan yang ada sekarang ke jaringan murni Ethernet karena Ethernet memiliki kekurangan dukungan untuk *link monitoring*, *fault isolation*, dan *diagnostic testing*. Ketiga atribut ini, yang dapat meningkatkan kualitas layanan, terdapat pada infrastruktur jaringan Pliesiochronous Digital Hierarchy (PDH) dan Synchronous Digital Hierarchy (SDH). Oleh karena itu dalam beberapa dekade ini, para operator jaringan mulai menyukai PDH dan SDH networks sebagai platform yang dapat diandalkan untuk menyediakan layanan yang handal bagi pelanggan.

Transparansi dan efisiensi pengiriman native Ethernet frames dari terminal yang satu ke lainnya cukup menantang. Pada masa lampau, untuk mengatasi masalah ini sangat mahal. Pada akhir tahun 1990-an, banyak operator jaringan mengganti sebagaimana dengan apa yang disebut perangkat Next-Generation SDH (NG-SDH). Perangkat next-generation ini akan tetap secara efisien memberikan layanan Ethernet dan Time Division Multiplexing (TDM) ketika infrastruktur digunakan hingga 100% [11], [12].

2.3 Teknologi Synchronous Digital Hierarchy (SDH)
SDH adalah sebuah teknologi jaringan yang didasarkan pada hierarki struktur Time Division

Multiplexing (TDM) digital sinkron yang bergantung kepada jaringan circuit switching untuk membangun hubungan dalam jaringan.

Teknologi ini didefinisikan oleh sekumpulan spesifikasi, fungsi dan protokol fisik dan link data yang awalnya dikembangkan untuk jaringan telepon. Operasi sinkron berarti bahwa struktur TDM disinkronkan oleh jaringan sinkronisasi ruang-waktu (time-space) yang kompleks, yang didasarkan kepada standar waktu referensi yang sangat rumit. Struktur tersebut merupakan hierarki dalam arti bahwa struktur kecepatan rendah dapat di multipleks dengan basis waktu (time-multiplexed) ke struktur kecepatan yang lebih tinggi [2], yang dikenal sebagai struktur multipleks SDH.

Pada tahun 1988, SDH distandarkan oleh ITU-T Rekomendasi G.707 [2], SDH sama dengan teknologi Synchronous Optical Network (SONET), yang diusulkan oleh BellCore dan distandarkan oleh ANSI pada tahun 1985. Sampai saat ini, teknologi SDH dan SONET keduanya sudah digunakan dan dioperasikan oleh setiap perusahaan telepon hampir di seluruh dunia. SDH dikembangkan untuk meningkatkan kapasitas jaringan circuit switching pada tahun 90 an, dimana ketika itu jaringan telepon masih menggunakan teknologi hierarki digital lama yang dikenal sebagai teknologi Pliesiochronous Digital Hierarchy (PDH) dan Digital Carrier System (DCS) yang pada akhirnya menjadi terbatas kemampuannya untuk mendukung pertumbuhan permintaan trafik pada waktu itu.

Revisi terakhir standar G.707 yaitu Januari 2007. Standar ini menjelaskan tentang spesifikasi frame SDH dan struktur multipleksing, bit rate, line interface, format untuk pemetaan dan multipleksing sinyal klien (mis, PDH, ATM dan Ethernet), elemen dan overhead ke dalam frame. Struktur frame SDH terendah yang didefinisikan dalam standar SDH adalah STM-1 (Synchronous Transport Module level 1) dengan laju bit 155,520 Mbit/s (155 Mbps). Ini berarti STM-1 terdiri dari 2430 byte dengan durasi frame 125 μ s. Bit rate atau kecepatan transmisi untuk level STM-N yang lebih tinggi juga telah distandarisasi sebagai kelipatan bulat (1, 4, 16 dan 64) dari N x 155,520 Mbps, seperti yang terdapat pada Tabel 1 [1], [2].

Adapun fungsi SDH yaitu:

Tabel 1: Standar frame dan kecepatan SDH

Level	Rate
STM-1	155,520 Mbps (155 Mbps)
STM-4	622,080 Mbps (620 Mbps)
STM-16	2488,320 Mbps (2,5 Gbps)
STM-64	9953,280 Mbps (10 Gbps)

Sumber: <http://www.ittelkom.ac.id/library/index.php>

Fungsi Networking utama SDH adalah sebagai berikut:

a) SDH Crossconnect, adalah versi SDH dari suatu *time space-time crosspoint switch*, untuk menghubungkan berbagai kanal dari berbagai input ke berbagai kanal pada berbagai output. SDH crossconnect digunakan dalam *transit exchanges*, dimana semua input dan output terhubung ke *exchanges* yang lain.

b) SDH Add-Drop Multiplexer (ADM), untuk dapat menambahkan atau mengurangi setiap frame yang dimultiplekskan sehingga menjadi 1.544Mb. Di bawah level ini, standard TDM dapat dibentuk. SDH ADMs juga dapat berfungsi untuk SDH Crossconnect dan juga digunakan pada End Exchanges dimana kanal-kanal pelanggan dihubungkan ke jaringan inti PSTN.

2.4 Ethernet over SDH

Jaringan akses public untuk pelanggan bisnis secara tradisional berbasis jaringan PDH dan SDH. Bertahun-tahun PDH dan SDH telah berkembang menjadi jaringan berkualitas tinggi untuk aplikasi TDM seperti voice dan leased line. Bagaimanapun SDH awalnya tidak dioptimalisasi untuk memenuhi kebutuhan sekarang untuk perkembangan trafik data yang sangat besar dan permintaan untuk layanan data baru yang sangat beragam. NG- SDH yang memiliki kemampuan Ethernet over SDH (EoSDH) membuat SDH menjadi platform yang ideal sebagai transport data yang efisien dengan proteksi kelas carrier yang sudah melekat pada SDH dan sebagai teknologi yang memiliki stabilitas yang sudah terbukti dan sudah dioperasikan secara luas hampir di seluruh dunia.

Sejumlah peningkatan telah dilakukan untuk penggunaan infrastruktur transport SDH yang lebih baik. Hal ini termasuk Generic Framing Protocol (GFP), Virtual Concatenation (VCAT), dan Link Capacity Adjustment (LCAS). Ethernet over SDH mengadopsi trafik sinyal Ethernet ke dalam jaringan transport signal digital SDH, Virtual Concatenation (VCat) [3]. Penggabungan GFP, VCAT dan LCAS dalam teknologi Ethernet over SDH akan meningkatkan bandwidth secara efisien untuk

transport data sementara penyedia layanan masih memungkinkan untuk mengoperasikan jaringan transport SDHnya [13].

3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan

- Merancang akses Ethernet pada infrastruktur jaringan telekomunikasi berbasis teknologi SDH masa depan (next generation SDH) Mengimplementasikan dan menguji infrastruktur jaringan SDH hasil rancangan pada skala laboratorium

3.2 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat sebagai berikut:

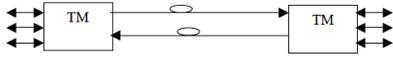
- Prototype jaringan akses Ethernet pada jaringan infrastruktur SDH skala laboratorium yang telah dirancang dan diuji ini diharapkan dapat dimanfaatkan oleh para operator jaringan yang selama ini telah mengoperasikan jaringan SDH yang ada, sebagai layanan yang diperkirakan dapat menciptakan pendapatan baru (new revenue)
- Prototype jaringan akses Ethernet ini dapat diimplementasikan untuk skala terbatas misalkan sebagai jaringan akses broadband Ethernet pada sebuah pemukiman, industri, kawasan industri dan kota-kota yang jauh atau kota-kota yang bukan kota metropolitan.

4 METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian untuk membangun akses Ethernet pada jaringan infrastruktur SDH ini pada prinsipnya terdiri dari tahap perancangan jaringan infrastruktur SDH menggunakan topologi jaringan point to point dan yang kedua adalah membangun akses Ethernet pada jaringan infrastruktur SDH tersebut.

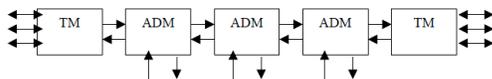
4.1 Arsitektur jaringan SDH

Jaringan SDH biasanya menggunakan media transmisi kabel serat optik (Fiber Optic, FO). Jaringan dapat dikonfigurasi untuk berbagai topologi seperti point to point, linear (chain), mesh atau ring dan topologi multi ring. Pada jaringan SDH point to point hanya terdapat dua terminal multiplexer yang masing-masing terminal berada di kedua ujung saluran FO seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Struktur jaringan ini dapat dikonfigurasi sebagai jaringan dengan sistem proteksi (*protected link*) atau tanpa proteksi (*unprotected link*), dua kabel FO ekstra dicadangkan untuk proteksi apabila terjadi kegagalan sistem.



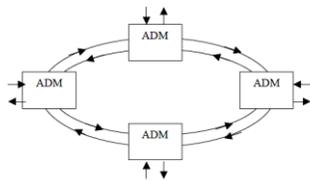
Gambar 1: Jaringan SDH point to point

Pada jaringan linear atau jaringan *chain*, node SDH ADM (*Add Drop Multiplexer*) dihubungkan dalam bentuk linear dimana dua terminal multiplexer terdapat pada kedua ujung link FO seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2. Topologi ini menyediakan kemampuan *add/drop* ke semua elemen jaringan. Pada jaringan dengan sistem tanpa proteksi dibutuhkan dua inti kabel FO untuk menghubungkan antara node ADM atau dengan sistem proteksi membutuhkan empat inti kabel FO dimana dua inti kabel FO beroperasi sementara dua ini lainnya sebagai *backup* atau cadangan. Pada jaringan linear, meskipun dua pasang kabel FO digunakan untuk proteksi antara dua node ADM, mungkin saja terjadi dimana ke empat inti kabel FO tersebut putus pada saat yang bersamaan.



Gambar 2: Jaringan SDH linear atau jaringan *chain*

Jaringan yang paling banyak digunakan adalah jaringan dengan arsitektur ring atau cincin dimana topologi ini menyediakan saluran alternative apabila terjadi putus pada kabel FO yang menghubungkan antara dua node ADM seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3: Jaringan SDH ring (cincin)

4.2 Perancangan jaringan SDH

Pada perancangan jaringan SDH ini dikhususkan pada topologi jaringan point to point seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Jaringan point to point memiliki dua buah perangkat SDH terminal multiplexer yang dihubungkan dengan menggunakan kabel fiber optic (FO) sebagai media transmisinya. Sedangkan perancangan jaringan akses Ethernet menggunakan perangkat Ethernet to E1 2Mbit/s signal converter. Sebelum tahap perancangan dilaksanakan konsep perancangan, spesifikasi dan persyaratan sistem harus ditentukan terlebih dahulu.

Spesifikasi perangkat SDH yang digunakan ditunjukkan sebagai berikut:

4.3 Persyaratan dan Spesifikasi teknis perangkat SDH Berdasarkan persyaratan teknis yang diinginkan maka perangkat SDH yang digunakan merupakan perangkat sistem transmisi SDH Multiplexer dengan level STM-1 seperti sebagai berikut:

Bit rate nominal	: STM-1 155.520 kbit/s
Panjang gelombang kerja, λ	: 1310/1550 nm
Jarak cakupan	: 20 km
Jenis kabel Fiber Optic	: G.652
Jenis konektor interfis	: LC
Level daya pancar maks	: - 8 dBm
Level daya pancar min	: - 15 dBm
Kisaran redaman	: 10 s.d 28 dB
Level sensitivitas minimum	: - 34 dBm
Level overload minimum	: - 10 dBm

Perangkat tersebut kompatibel dengan standar ITU-T dan dirancang dengan sistem modular dengan dua buah 155.520 Mb/s interfis optik untuk menyediakan platform multi layanan, yang fleksible dan kompak dengan harga yang relative murah. Perangkat memiliki kartu interfis opsional diantaranya kartu interfis E1, kartu Engineering Order Wire (EOW) dan memiliki kemampuan konektivitas silang (cross connect) antar semua tributary, selain itu perangkat ini dapat diaplikasikan sebagai sebuah Terminal Multiplexer (TM) atau sebuah Add-Drop-Multiplexer (ADM) untuk membangun jaringan transmisi point to point, chain dan ring.

4.4 Optical link budget

Kriteria dan faktor Perhitungan

Perancangan sistem FO merupakan kegiatan yang harus mempertimbangkan keseimbangan antara daya optic yang tersedia dengan jarak saluran FO. Sebagaimana seperti sistem-sistem yang lain, kita perlu membuat kriteria performansi (performance criteria) dan menentukan bagaimana kriteria tersebut terpenuhi. Perhitungan kapabilitas suatu sistem untuk berunjuk kerja tergantung dari sebuah daftar elemen yang panjang. Berikut adalah daftar unsure-unsur dasar yang digunakan untuk menentukan unjuk kerja sistem transmisi :

- Faktor rugi (loss factor) FO : Faktor rugi FO memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap unjuk kerja sistem keseluruhan. Biasanya pabrik pembuat kabel FO memberikan faktor kabel FO dalam dB per kilometer. Perhitungan rugi-rugi total kabel FO berdasarkan pada Jarak x Faktor rugi. Jarak dalam hal ini adalah panjang total kabel bukan hanya jarak di peta.
- Jenis kabel FO : Kebanyakan Kabel FO jenis single mode (mode tunggal) memiliki faktor rugi

antara 0,25 @1550 nm dan 0,35 @1310 nm dB/km. Jenis kabel mode ganda (multi mode), memiliki faktor rugi kira-kira 2,5 @850 nm dan 0,8 @1300nm dB/km. Jenis kabel FO yang digunakan sangatlah penting. Multi mode FO digunakan dengan LED pemancar yang pada umumnya tidak memiliki daya yang cukup untuk mencapai lebih dari 1 km. Single mode FO digunakan dengan pemancar LASER yang tersedia dengan berbagai daya output untuk kriteria “jangkauan panjang” (long reach) dan “jangkauan pendek” (short reach).

- Pemancar (Transmitter) : Pada dasarnya ada dua jenis pemancar yang digunakan dalam sistem FO yaitu LASER dan LED. LASER tersedia dengan tiga varitas; tinggi, menengah, dan rendah (jangkauan panjang, jangkauan menengah, dan jangkauan pendek). Perancangan sistem keseluruhan akan menentukan jenis kabel FO yang mana yang akan digunakan. Pemancar LED yang digunakan dengan multi mode kabel FO, bagaimanapun, tersedia LED dengan “daya tinggi” yang dapat digunakan dengan single mode kabel FO. Pemancar dinyatakan dalam level daya output cahaya pada konektor output misalkan -5 dBm. Kemampuan sebuah penerima dalam melihat sumber cahaya optic, membutuhkan sejumlah minimum cahaya agar dapat berfungsi di bawah spesifikasi tertentu yang dinyatakan dalam level minimum cahaya yang diinginkan misalkan -28 dBm. Sebuah penerima optik dapat pula disebut sebagai sebuah detektor cahaya.
- Jumlah dan jenis splices : Ada dua jenis splices, mechanical splices menggunakan satu set konektor pada setiap ujung dari pada kabel FO yang akan dihubungkan dan fusion splices dimana hubungan dilakukan dengan mencairkan kedua ujung fiber. mechanical splices biasanya secara umum memiliki rugi-rugi sebesar 0,7 sampai dengan 1,5 dB per konektor sementara fusion splices secara umum memiliki rugi-rugi antara 0,1 sampai dengan 0,5 dB per splice. Jenis fusio splices ini yang pada akhirnya banyak digunakan karena faktor rugi yang relative kecil.
- Margin : Ini merupakan faktor yang sangat penting, Sebuah sistem tidak dapat dirancang yang didasarkan hanya pada jumlah minimum cahaya yang dibutuhkan hingga sampai di penerima. Pertimbangan penyediaan margin daya cahaya adalah didasarkan kepada kemungkinan terjadinya berkurangnya level daya cahaya yang disebabkan oleh faktor penuaan kabel FO, perangkat pemancar dan penerimanya, komponen dan lintasan kabel yang mungkin mengalami pembengkokan (bending) dan pelintiran (twisting) dari pada kabel FO itu sendiri. Kebanyakan di

dalam perancangan selalu ditambahkan rugi bujet margin (loss budget margin) sebesar 3 sampai dengan 10 dB.

4.5 Memperkirakan rugi FO link total

Ada beberapa cara untuk menangani masalah dalam menentukan persyaratan daya untuk sebuah link FO. Cara yang paling mudah adalah dengan melakukan pengukuran menggunakan *Optical Time Domain Reflectometer* (OTDR). Dengan cara pengukuran ini akan memberikan harga rugi-rugi total yang sebenarnya dari sebuah link FO. Tetapi ada dua cara alternative lain yang digunakan untuk memperkirakan persyaratan daya yang diperlukan untuk sebuah link FO, sebagai berikut:

1. Memperkirakan rugi link total pada link FO yang ada (existing) jika panjang kabel FO dan variabel rugi-ruginya diketahui.
2. Memperkirakan jarak maksimum FO jika optical budget dan variabel rugi-ruginya di ketahui.

Variabel rugi-rugi adalah konektor, splices dan redaman perkilometer dari kabel FO itu sendiri. Jika harga rugi-rugi variable yang sebenarnya tidak diketahui, maka dalam perhitungan dapat membuat perkiraan rugi-rugi untuk setiap variabel tersebut. Dalam hal ini, kita harus melakukan pendekatan kondisi terburuk (worst case condition) untuk menjamin bahwa tersedia daya yang memadai untuk sebuah link FO. Berikut diperlihatkan pada Tabel 2 yang memberikan informasi tentang harga rugi-rugi yang secara umum dapat diterima yang diperlukan dalam perhitungan.

Tabel 2: Rugi-rugi kabel FO, konektor dan Splice

Jenis Fiber Optic	Panjang Gelombang (λ)	Redaman Fiber/km	Rugi-rugi Konektor	Rugi-rugi Splices
Multi mode 50/125 μm	850 nm	3,5 dB	0,75 dB	0,1 dB
	1300	1,5 dB	0,75 dB	0,1 dB
Multi mode 62,5/125 μm	850 nm	3,5 dB	0,75 dB	0,1 dB
	1300	1,5 dB	0,75 dB	0,1 dB
Single mode 9 μm	1310 nm	0,4 dB	0,75 dB	0,1 dB
	1550 nm	0,3 dB	0,75 dB	0,1 dB

Sumber: Spesifikasi TIA/EIA

Berikut adalah rumus untuk menghitung perkiraan rugi-rugi link,

$$\text{Rugi Link} = [\text{panjang FO (km)} \times \text{redaman FO per km}] + [\text{rugi splices} \times \text{jumlah splices}] + [\text{rugi konektor} \times \text{jumlah konektor}] + [\text{safety margin}]$$

Sedangkan rumus berikut digunakan untuk menghitung berapa perkiraan jarak maksimum kabel FO untuk link yang diberikan, optical budget,

konektor dan splices sudah termasuk dalam link tersebut.

$$\text{Panjang FO} = \frac{[\text{Optical budget}] - [\text{rugi link}]}{[\text{redaman FO/km}]}$$

$$\text{Panjang FO} = \{[(\text{min. TX PWR}) - (\text{sensitivitas RX})] - [\text{rugi konektor} \times \text{jumlah konektor}]\}$$

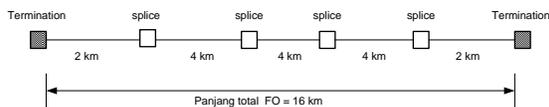
4.6 Perhitungan Fiber Optic Link Budget

Dalam perhitungan ini sistem jaringan transmisi Fiber Optic yang akan digunakan adalah topologi jaringan Point To Point dengan skenario perencanaan sebagai berikut:

“Dua pusat operasi terletak kira-kira 13 km berdasarkan jarak pada peta. Diasumsikan bahwa perangkat komunikasi utama di masing-masing pusat operasi adalah Wide Area Network (WAN), dimana router terhubung dengan modul link komunikasi optik, dan kedua pusat operasi dihubungkan dengan kabel FO. Jarak sebenarnya yang diukur adalah jarak yang didasarkan pada rute perjalanan. Jadi total jarak yang sebenarnya terukur adalah 16 km. Diasumsikan pula bahwa tidak ada perangkat komunikasi lain yang terpasang sepanjang link FO.”

Catatan:

Kabel FO biasanya dikirim dengan panjang rol maksimum adalah sekitar 4,5 km. kalau diasumsikan sistem FO link ini dibagi menjadi tiga bentangan (satu bentangan membutuhkan satu rol kabel FO per 4 km) yang masing-masing dihubungkan dengan teknik fusion splice dan dua bentangan per 2 km yang kedua ujungnya diterminasi. Jadi ada empat sambungan (splices) dengan dua buah terminasi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4: Link FO dengan splices dan termination
Dari hasil perhitungan diperoleh seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3: Hasil perhitungan link FO.

Redaman kabel FO	16 km x 0,35 dB/km = -5,6 dB
Rugi Fusion Splice	4 x 0,2 dB = -0,8 dB
Terminasi konektor	2 x 1,0 dB = -2 dB
Loss Margin	-5 dB
Rugi-rugi Total FO	-13,4 dB

Berdasarkan spesifikasi perangkat SDH, FO yang digunakan adalah jenis single mode fiber dengan daya pancar dan sensitivitas penerima untuk berbagai jarak jangkauan, seperti diperlihatkan pada Tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4: Spesifikasi daya pancar dan sensitivitas penerima berdasarkan jarak jangkauan

Jarak Jangkauan	Daya Pancar	Sensitivitas Penerima
Jauh	0 dBm	- 34 dBm
Menengah	-5 dBm	- 34 dBm
Dekat	-8 dBm	- 34 dBm

Untuk menentukan opsi daya pancar yang benar adalah dengan menambahkan daya pancar kepada perhitungan rugi-rugi FO seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5: Perhitungan rugi FO dan rugi budget

Jarak Jangkauan	Daya pancar	Rugi FO	Rugi Budget (Loss Budget)
Jauh	0 dBm	-13,4 dB	13,4 dB
Menengah	-5 dBm	-13,4 dB	18,4 dB
Dekat	-8 dBm	-13,4 dB	21,4 dB

Kemudian kita bandingkan dengan spesifikasi sensitivitas penerima seperti diperlihatkan pada Tabel 6.

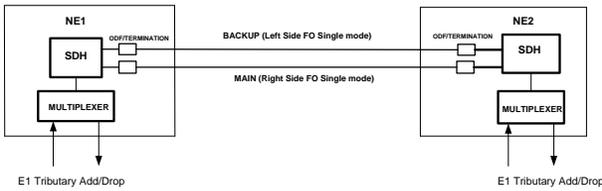
Tabel 6: Perbedaan antara sensitivitas dengan rugi budget

Jarak Jangkauan	Sensitivitas Penerima	Rugi Budget	Perbedaan
Jauh	- 34 dBm	13,4 dB	20,6 dB
Menengah	- 34 dBm	18,4 dB	15,6 dB
Dekat	- 34 dBm	21,4 dB	12,6 dB

Dari hasil perhitungan Tabel 6, maka dapat diambil kesimpulan bahwa opsi daya pancar untuk jarak jangkauan pendek akan memberikan kemampuan yang memadai untuk dioperasikan pada sistem transmisi optic ini dan sesuai dengan spesifikasi perangkat yang digunakan.

4.7 Implementasi jaringan SDH

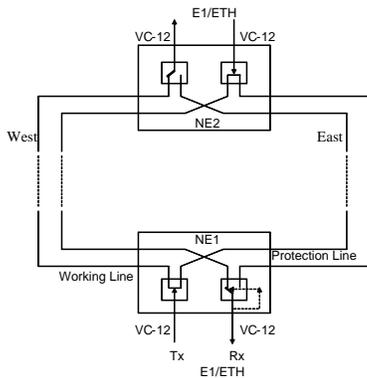
Berdasarkan hasil perhitungan Fiber Optic Link Budget, dan spesifikasi perangkat yang dipilih, infrastruktur jaringan SDH dapat diimplementasikan. Jaringan SDH ini terdiri dari dua buah perangkat SDH Multiplexer yaitu NE1 dan NE2, dilengkapi sistem proteksi dengan menggunakan dua buah FO seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Ada dua macam mode proteksi yang dapat diterapkan yaitu mode 1+1 dan 1+0 seperti yang dijelaskan dibawah ini.



Gambar 5: Layout Diagram jaringan SDH dengan link FO

Mode lintasan proteksi 1+1

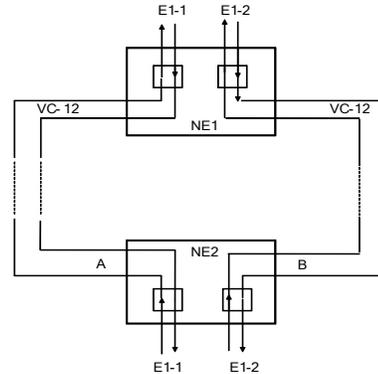
Seperti ditunjukkan pada Gambar 6, ada dua FO yang membentuk topologi ring. Untuk mode lintasan proteksi 1+1, pada klien NE1, trafik klien selalu ditransmisikan dalam dua arah dengan mengambil time slot yang sama melalui kedua lintasan proteksi (VC12 atau time slot) pada saat yang bersamaan. Pada ujung penerima NE2, sinyal trafik yang sama datang dari dua arah bersama dengan FO. Ketika proteksi otomatis diaktifkan, NE2 akan memilih salah satu trafik yang terbaik dari dua sinyal trafik yang ada. Jika NE2 saat ini sedang menerima dari arah Barat, NE2 akan segera berubah menerima sinyal trafik dari arah Timur apabila sinyal dari arah Barat gagal yang dapat disebabkan oleh putus atau kerusakan pada FO atau penyebab lainnya. Dalam hal ini, trafik menduduki time slot VC12 yang sama di kedua arah FO Timur dan Barat. Maka dari itu, bandwidth transmisi yang tersedia hanya hingga 63 VC12.



Gambar 6: Mode proteksi 1+1

Mode lintasan proteksi 1+0

Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7, dalam mode 1+0, trafik klien ditransmisikan melalui lintasan kerja tanpa lintasan proteksi standby. Tidak ada lintasan proteksi sama sekali sehingga lintasan port A dan port B dengan nomor VC12 yang sama dapat ditransmisikan ke trafik klien yang berbeda, oleh karena itu efisiensi bandwidth transmisi yang tersedia dapat dilipat duakan hingga (63x2) VC12.



Gambar 7: Mode proteksi 1+0

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

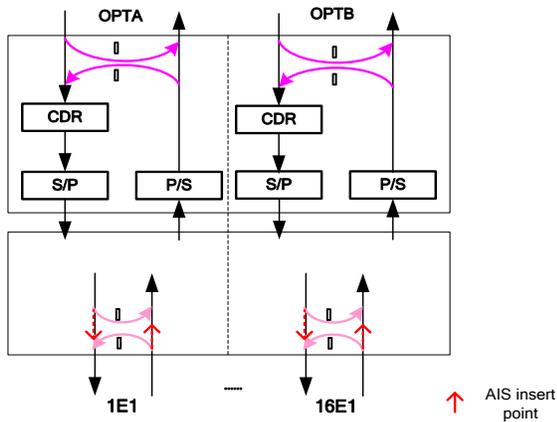
Pada tahap ini, jaringan infrastruktur SDH yang sudah dibangun akan diuji dan dievaluasi. Pengujian melibatkan uji kesalahan (Bit Error Test) dan Error Performance G.826.

5.1.2 Pengujian dan Pengukuran Bit Error Ratio (BER)

Dalam pengujian dan pengukuran BER dilakukan menggunakan metode LOOP BACK yang dikombinasikan dengan BER Tester (Bit Error Ratio Tester) yang sudah tersedia di dalam sistem perangkat lunaknya dan menggunakan BER Tester eksternal EDT 135 Data Tester.

Berbagai mode loop back yang tersedia pada perangkat SDH yang digunakan untuk penelitian ini dapat dikonfigurasi dengan menggunakan perangkat lunak manajemen jaringan RAYVIEW.

- Loop back port saluran luar (line port outer), diperlihatkan pada Gambar 8. Pada titik loop back ①, sinyal yang masuk dari saluran optik yang harus dikirim kembali menuju saluran optik.
- Loop back port saluran dalam (line port inner), diperlihatkan pada Gambar 8. Pada titik loop back ②, aliran bit yang diterima melalui modul optik yang harus dikirim kembali menuju stasiun pengirimnya.



Gambar 8: Mode loop back

- Loop back port E1 dalam (E1 port inner), diperlihatkan pada Gambar 9. Pada titik loop back ③, aliran bit yang diterima melalui kanal E1 harus dikirim kembali menuju arah saluran optik.
- Loop back port E1 luar (E1 port outer), diperlihatkan pada Gambar 9. Pada titik loop back ④, aliran bit yang diterima melalui kanal E1 harus dikirim kembali menuju saluran pancar E1.

5.1.1 Pengukuran Bit Error Rate (BER)

Pengujian dan pengukuran BER ujung ke ujung (*end to end*) sistem jaringan SDH ini mengacu kepada Rec ITU-T G.821 dengan hasil diperlihatkan sebagai berikut:

Pengukuran dilakukan pada setiap tributary yaitu E1-1 sampai dengan E1-8, dengan spesifikasi sinyal tributary 2MB seperti ditunjukkan pada Tabel 7. Dan hasil pengukuran BER diperlihatkan pada Tabel 8.

Tabel 7: Spesifikasi sinyal Tributary 2 Mbps

Interface	G.703
Line Code	HDB3
Framing	PCM 30
Impedance	75/120Ω
Line rate	2048 kbps

Tabel 8: Hasil pengukuran BER

Nomor Tributary	Line Rate (bps)	Code Error Ratio	Bit Rate (bps)	Bit Error Ratio	Total Bit
1	2047969	1,2E-9	63999	1,0E-9	3.840E7
2	2047977	1,2E-9	63999	1,0E-9	3.827E7
3	2047988	1,2E-9	63999	1,0E-9	3.840E7
4	2047728	1,3E-9	63991	1,0E-9	3.839E7
5	2047728	1,3E-9	63991	1,0E-9	3.839E7
6	2047728	1,3E-9	63991	1,0E-9	3.839E7
7	2047728	1,3E-9	63991	1,0E-9	3.839E7
8	2047728	1,3E-9	63991	1,0E-9	3.839E7

5.2 Pengukuran Error Performance

Rec ITU-T G.821 saat ini sudah ditingkatkan oleh Rec ITU-T G.826. Rekomendasi G.826 ini digunakan untuk pengujian dan pengukuran error performance yang dinyatakan dalam blok error. Rec ITU-T G.826 dapat diterapkan pada perangkat sistem Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH) dan Synchronous Digital Hierarchy (SDH). Di dalam penelitian ini masih menggunakan acuan Rec ITU G.821.

Hasil pengukuran *Error Performance* ditunjukkan pada Tabel 9.

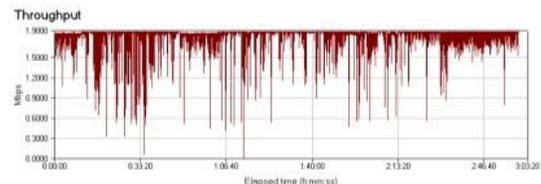
Tabel 9: Hasil pengukuran Error Performance

Nomor Tributary	Errored Free Seconds	Error Seconds	Sev Error Secs	Available Time	Unavailable Time
1	600 100%	PASS 0 0%	PASS	600 100%	0 0%
2	598 98.6667%	PASS 2 0.333%	PASS	601 100%	0 0%
3	600 100%	PASS 0 0%	PASS	600 100%	0 0%
4	592 98.6667%	PASS 8 1.333%	PASS	600 100%	0 0%
5	592 98.6667%	PASS 8 1.333%	PASS	600 100%	0 0%
6	592 98.6667%	PASS 8 1.333%	PASS	600 100%	0 0%
7	592 98.6667%	PASS 8 1.333%	PASS	600 100%	0 0%
8	592 98.6667%	PASS 8 1.333%	PASS	600 100%	0 0%

5.2 pengukuran End Point Performance

Pengukuran end point performance ini menggunakan aplikasi perangkat lunak **NetIQ Charriot** yang terpasang pada masing-masing terminal PC pada ke dua ujungnya (end points). Pengukuran dilakukan dengan Tributary 2 Mbps Dan menggunakan dua macam protokol seperti TCP, UDP untuk berbagai service quality seperti G.711, G.723.1, H261QCIF, H261CIF dan lain- lain.

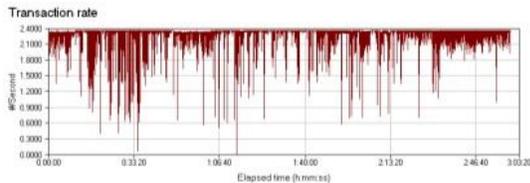
Salah satu contoh hasil pengukuran *end to end performance* menggunakan **NetIQ Charriot** untuk protocol TCP dan *service quality* H261CIF di perlihatkan pada Gambar 10, 11,dan 12.



Gambar 10. Hasil pengukuran *Throughput*



Gambar 11. Hasil pengukuran *Response time*



Gambar 12. Hasil pengukuran *Transaction time*

5.3 Pembahasan hasil pengukuran:

Berdasarkan pengukuran BER pada tributary 2 Mbps dapat dilihat pada Tabel 8 diatas bahwa BER tributary nomor 1 sampai dengan 8 menunjukkan hasil yang hampir mendekati tanpa kesalahan (no error) Selain dari hasil pengukuran dan pengujian BER pada setiap tributary 2 Mbps, hasil pengukuran dan pengujian error performance Rec G.821 seperti yang diperlihatkan pada Tabel 9, error free seconds = 100%, error second = 0%, severely error second = PASS, available time = 100% dan unavailable time = 0 %. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa memenuhi error performance objective G.821 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10: Error performance ITU G.821 untuk koneksi ISDN internasional

Performance classification	Objective (Note)
Severely Errored Second Ratio	<0.002
Errored Second Ratio	<0.08
NOTE – The ratios are calculated over the available time. The observation time has not been specified since the period may depend upon the application. A period of the order of any one month is suggested as a reference.	

6. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tahun ke 1 ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

Akses Ethernet pada jaringan infrastruktur SDH (Ethernet over SDH) telah berhasil dibangun. Hasil pengujian *Bit Error Rate* maupun *Error Performance G.821* pada jaringan SDH menunjukkan hasil yang sangat baik, hal ini dikarenakan level sinyal trafik sepanjang saluran FO relative konstan karena tidak terpengaruh oleh interferensi medan elektromagnetik sekitarnya. Sedangkan hasil pengujian *end to end performance* trafik jaringan akses Ethernet menunjukkan nilai throughput sekitar 1,9Mbit/s yang mana lebih kecil dari data rate sinyal tributary 2Mbit/s yang digunakan. Hal ini dikarenakan sebagian bit digunakan untuk pemetaan ketika proses

konversi dari sinyal digital ke sinyal Ethernet berlangsung. Jaringan infrastruktur SDH yang dibangun pada penelitian ini menggunakan topologi jaringan *point to point* sehingga apabila terjadi gangguan, misalnya putus pada saluran FO nya maka jaringan akan mati (*outage*). Untuk saran kedepan implementasi jaringan dapat menggunakan topologi jaringan ring dengan menambahkan fungsi *add/drop multiplexing* sehingga kehandalan dan ketersediaan jaringan semakin baik. Sebagai pengembangan dari hasil penelitian tahun ke 1, rencana pekerjaan untuk tahun ke 2 ialah merancang jaringan ring SDH dengan *Multi Service Provisioning Platform (MSPP)* untuk operasi kereta api di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah memberikan kesempatan dan pendanaan dalam penelitian hibang bersaing ini. Semoga hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh pihak-pihak yang berkepentingan di bidang telekomunikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Metcalfe, R.M 1976. Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Network. in Communication of the ACM 19 (5) pp 395-45.
- [2] ITU-T Oct 2000. Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierarchy. Recommendation G.707/Y.1322.
- [3] ITU-T Dec 2003. Generic Framing Procedure (GFP). Recommendation 7041/Y.1303,
- [4] ITU-T Feb 2002. Link Capacity Adjustment Scheme (LCAS) for Virtual Concatenated Signal. Recommendation G.7042/Y.1305.
- [5] DEC, Xerox and Intel 1980. The Ethernet, a Local Area Network: Data Link Layer and Physical Layer Specification. AA-K759B-TK, DEC X3T51/80-50.
- [6] IEEE Dec 2008. Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection Access Method and Physical Layer Specification. IEEE Std 802.
- [7] Ali, M, G. Chiruvolum 2005. Traffic Engineering in Metro Ethernet. IEEE Network, pp.10 -17.
- [8] Stallings, W 2004. Data and Computer Communication. Prentice Hall, 7th edition, ISBN 0-13-1000681-9
- [9] DARPA Sept 1981. Internet Protocol. RFC 791.
- [10] Brockners, F, N Finn, and S Pjilips. 2003. Metro Ethernet-deploying the extended campus using Ethernet technology. in Proceeding of the 28th

- Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks, pp. 594-604.
- [11] X. He, M.Zhu, and Q.Chu. Transporting Metro Ethernet Services over Metropolitan Area Networks. in Proceedings of the IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing, 2006, pp.178-185.
 - [12] Metro Ethernet Forum 2011. Technical Specification.
<https://www.mef.net/>
 - [13] Carraso S.P 2002. Ethernet over SDH/SONET GFP, VCAT, LCAS. Technology White Paper. Carrasco and & Associate..
 - [14] ForouzanBehrouz.F 2003. Data Communication and Network, Third edition. McGrawHill
 - [15] Forouzan Behrouz.F 2003. TCP/IP Protocol Suite, International EDITION. Mc GrawHill
 - [16] "Metro Ethernet Forum". MEF. Retrieved 30 May 2011
 - [17] Journal of Technology Management & Innovation
J. Technol. Manag Innov. 2011, Volume 6, Issue 3
 - [18] "IEEE P802.3ba 40Gb/s and 100Gb/s Ethernet Task Force". official web site.
<http://ieee802.org/3/ba/> June 19,2010
 - [19] International Engineering Consortium (IEC), 2007, FTTH explained: delivering efficient customer bandwidth and enhanced services,
 - [20] Vanek, J., Jarolimek, J. and Vogelanzova, T., 2011. Information and Communication Technologies for Regional Development in the Czech Republic - Broadband Connectivity in Rural Areas. AGRIS on-Line Papers
in Economics and Informatics, vol. 3, no. 3, pp. 67-76
ProQuest Agriculture Journals