



**ANALISIS KINERJA LINK POWER BUDGET
PADA JARINGAN HFC DI PT. FIRST MEDIA**

Ade Nurhayati¹, Suparidin², Nova Oktaviani³

**^{1,3} Akademi Teknik Telekomunikasi Sandhy Putra Jakarta, ² PT. First Media
Sade_icad@yahoo.com, Suparidin@firstmedia.com, Novanovaoktaviani@yahoo.co.id**

ABSTRAK

Di era globalisasi seperti sekarang ini, kebutuhan akan teknologi *broadband* semakin tumbuh dan berkembang pesat pada setiap lapisan masyarakat tanpa terkecuali. Hal tersebut membuka peluang kepada *provider-provider* penyedia layanan informasi khususnya PT. First Media untuk memberikan pelayanan-pelayanan berbagai macam informasi serta menjaga kehandalan dari jaringannya dengan meningkatkan sistem transmisi jaringan dengan kualitas yang lebih besar lagi. Salah satu solusi yang dapat digunakan adalah teknologi yang menggunakan infrastruktur jaringan *Hybrid Fiber Coaxial* (HFC) dengan layanan komunikasi data, suara, maupun video secara dua arah yang bersifat *real time*. Serat optik digunakan sebagai jalur utama (*backbone*) pada jaringan, sedangkan koaksial digunakan pada jaringan pelanggan (*feeder*).

Tujuan dari penelitian ini adalah kapasitas cahaya yang dipancarkan pada jaringan serat optik *Single Mode* 1310 nm dengan melakukan perhitungan dan pengukuran *link power budget* menggunakan alat OTDR (*Optical Time Domain Reflectometer*) yang menunjukkan bahwa kualitas dan tingkat keberhasilan pancaran cahaya pada jaringan serat optik dapat ditransmisikan dengan baik pada area aktivasi NRO (*New Roll Out*) sebagai area perluasan dan penambahan terhadap jaringan PT. First Media.

Hasil pengukuran jaringan serat optik pada area DLK 090 diperoleh jarak *link* serat optik 19,6907 km dengan jumlah sambungan sebanyak 9 sambungan dan besar redaman total sebesar 8,159 dB. Sedangkan pada area DLK 092 diperoleh jarak *link* serat optik 19,9792 km, jumlah sambungan sebanyak 10 sambungan dan besar redaman total sebesar 8,997 dB. Secara keseluruhan berdasarkan hasil analisis kinerja *link power budget* yang didapatkan pada daya receiver (Prx) Node DLK 090 dan DLK 092 masih dapat diterima dengan baik sesuai level daya terima perangkat Node yaitu -1,55 hingga 1,46.

Katakunci : Jaringan Serat Optik, Single Mode, Link Power budget, Aktivasi NRO, OTDR

ABSTRACT

In the case of the current era of globalization, the need for broadband technology is growing and developing at every level of society without exception. It opens the opportunity for providers of information providers, especially PT. First Media to provide various information and maintaining the network reliability by increasing transmission network system with greater quality. One solution that can be used is a technology that uses network infrastructure Hybrid Fiber Coaxial (HFC) with data communications services, voice and video two way real time. Optical fiber is used as the main line (backbone) on the network, while the coaxial cable used on the customer network (feeder).

The purpose of this research is the capacity of the emitted light in fiber optic network Single Mode 1310 nm by doing the calculations and measuring of link power budget by using OTDR (Optical Time Domain reflectometer) which shows that the quality and success rate of the emission light in fiber optic networks can be transmitted well on activation area NRO (New Roll Out) as the area of network expansion and the addition of PT. First Media.

The results of measurements of fiber optic network in the area DLK 090 the distance link optical fiber is 19,6907 km with the number of splicing is 9 splicing and the total attenuation 8,158 dB. Although in the area DLK 092 the distance link optical fiber is 19,9792 km with the number of splicing is 10 splicing and the total attenuation 8,997 dB. Overall, based on the results of analysis performance link power budget is obtained at the receiver (Prx) Node DLK 090 and DLK 092 can still be well received according to the power level received the device Node that is -1.55 to 1.46

Keywords : Fiber Optic Network, Single Mode, Link Power budget, Activation NRO, OTDR

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era globalisasi seperti sekarang ini, kebutuhan akan teknologi *broadband* semakin tumbuh dan berkembang pesat pada setiap lapisan masyarakat tanpa terkecuali. Masyarakat sebagai penerima informasi membutuhkan beragam layanan informasi dengan kapasitas *bandwidth* yang lebar serta waktu akses informasi yang cepat. Hal tersebut membuka peluang kepada *provider-provider* penyedia layanan informasi untuk memberikan pelayanan-pelayanan berbagai macam informasi serta menjaga kehandalan dari jaringannya. Oleh karena itu, dalam persaingan antar *provider-provider* penyedia layanan informasi yang semakin ketat dituntut untuk meningkatkan sistem transmisi dengan kualitas yang lebih baik lagi akibat dari tingginya permintaan akan sistem transmisi layanan informasi.

Pada area aktivasi NRO (*New Roll Out*), pentransmisi serat optik jaringan HFC PT. First Media dari Hub ke Node merupakan peranan yang sangat penting. Sebelum melakukan pengiriman sinyal dari sisi Hub, perlu dilakukan pengukuran dan perhitungan terhadap *power budget* yang dihasilkan pada jaringan serat optik agar sesuai dengan daya terima perangkat/Node. Hal tersebut dilakukan untuk menunjukkan kualitas dan tingkat keberhasilan pancaran cahaya pada jaringan serat optik dapat ditransmisikan dengan baik pada area aktivasi NRO (*New Roll Out*) sebagai area perluasan dan penambahan terhadap jaringan HFC PT. First Media.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa kinerja jaringan *link power budget* serat optik pada Hub Karawaci ke Node Griya Permata Cipondoh jaringan HFC (*Hybrid Fiber Coaxial*) PT. First Media sebagai *new area* aktivasi NRO berdasarkan hasil pengukuran *link power budget* yang didapatkan di lapangan dan perhitungan secara teoritis.

1.3 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah :

1. Studi Pustaka

Pada metode ini dilakukan dengan studi pustaka di perpustakaan kampus atau di perpustakaan lain yang berhubungan dengan permasalahan yang berhubungan dengan penelitian ini.

2. Riset Penelitian

Pada tahap ini penulis mencoba melakukan penelitian dan pengamatan langsung terhadap kinerja *link power budget* Hub Karawaci ke Node Griya Permata Cipondoh pada jaringan HFC (*Hybrid Fiber Coaxial*) PT. First Media dan data diperoleh langsung dari hasil pengukuran *link power budget* PT. First Media.

3. Diskusi

Metode ini dilakukan untuk mendukung dari kesempurnaannya penelitian dengan melakukan

diskusi dengan dosen pembimbing akademik maupun dengan pihak-pihak yang ahli dibidang yang bersangkutan.

4. Analisa

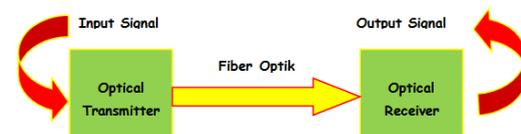
Dari hasil data-data yang didapatkan pada saat melakukan riset, maka perlu dilakukan penganalisaan sebagai akhir dari proses penelitian

DASAR TEORI

2.1 Teknologi Serat Optik

Media komunikasi digital pada dasarnya hanya ada tiga, tembaga, udara dan kaca. Tembaga kita kenal sebagai media komunikasi sejak lama, telah berevolusi dari hanya penghantar listrik menjadi penghantar elektromagnetik yang membawa pesan, suara, gambar dan data digital. Berkembangnya teknologi frekuensi radio menambah alternatif lain media komunikasi, kita sebut nirkabel atau *wireless*, sebuah komunikasi dengan udara sebagai penghantar. Tahun 1980-an kita mulai mengenal media komunikasi yang lain yang sekarang menjadi tulang punggung komunikasi dunia, yaitu serat optik. Serat optik adalah saluran transmisi yang terbuat dari kaca atau plastik yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat lain. Cahaya yang ada di dalam serat optik sulit keluar karena indeks bias dari kaca lebih besar daripada indeks bias dari udara. Sumber cahaya yang digunakan adalah laser karena laser mempunyai spektrum yang sangat sempit. Kecepatan transmisi serat optik sangat tinggi sehingga sangat bagus digunakan sebagai saluran komunikasi. [1]

2.2 Sistem Komunikasi Serat Optik



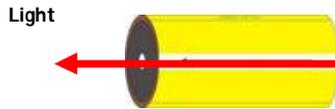
Gambar 2.1 Blok Diagram Sistem Komunikasi Serat Optik

Pada umumnya sistem transmisi serat optik terdiri dari 3 bagian yaitu sumber cahaya, media transmisi dan detektor. Sumber cahaya adalah bagian dari sistem yang mengubah sinyal listrik menjadi sinyal cahaya yang sesuai. Tugas ini biasanya dilakukan oleh LED (*Light Emitting Diode*) atau bisa juga menggunakan dioda laser, yaitu dioda yang dapat memancarkan sinar laser. Media transmisi dijalankan oleh serat optik. Sebagai detektor digunakan *photodiode* yaitu dioda yang dapat menyerap cahaya dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang sesuai. [2]

2.3 Mode Serat Optik

Berdasarkan sumber penelitian yang dilakukan bahwa jenis serat optik yang digunakan pada jaringan PT. First Media adalah serat optik *singlemode*. *Singlemode* dilihat dari segi

strukturalnya merupakan teknologi serat optik yang bekerja menggunakan inti (*core*) serat yang berukuran sangat kecil. Menurut *standard single mode fiber optics* diameter *core* sebesar 9 μm dan diameter *cladding* sebesar 125 μm . Dengan ukuran *core* serat yang sedemikian kecil, sinar yang mampu dilewatkannya hanyalah satu *mode* sinar saja. Sinar yang dapat dilewatkan hanyalah sinar dengan panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm. Pulsa cahaya ditembakkan hanya lurus searah panjang kabel. Hal itu dikarenakan diameter *core* mendekati panjang gelombang sehingga cahaya yang masuk ke dalamnya tidak terpantul-pantul ke dinding *cladding*. [3]



Gambar 2.2 Singlemode Step Index Fiber

2.4 Karakteristik Serat Optik

2.4.1 Redaman

Redaman/atenuasi adalah rugi-rugi pada jaringan serat optik yang mengakibatkan pelemahan jaringan. Besarnya redaman pada serat optik panjang gelombang 1310 nm adalah sebesar 0,5 dB/km sedangkan untuk panjang gelombang 1550 nm adalah sebesar 0,4 dB/km. Redaman juga dihasilkan dari proses penyambungan serat optik, yaitu :

1. Splice

Merupakan sambungan bersifat permanen yang digunakan untuk menyambungkan dua buah serat optik yang patah atau disambung untuk perluasan/penambahan jaringan serat optik.

2. Konektor

Merupakan sambungan bersifat tidak permanen yang digunakan untuk menyambungkan serat optik dengan perangkat agar mudah dilepas dan dipasang.



Gambar 2.3 ST Connector dan SC Connector

2.4.2 Dispersi

Dispersi adalah peristiwa dimana suatu pulsa cahaya yang datang akan mengalami pelebaran pulsa selama perambatannya didalam serat optik.

Ada 2 macam dispersi, yaitu :

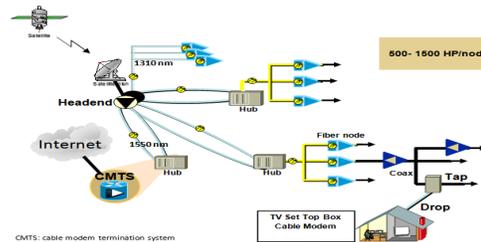
- I. Dispersi Mode
 - II. Dispersi Panjang Gelombang
- Dispersi ini masih dibagi menjadi dua, yaitu :

- a. Dispersi Material
- b. Dispersi Struktur [4]

2.5 Konsep Dasar Teknologi HFC (Hybrid Fiber Coaxial)

Teknologi *Hybrid Fiber Coaxial* (HFC) merupakan salah satu teknologi jaringan akses yang dibentuk oleh kombinasi jaringan fiber optik dan koaksial. Pada awalnya teknologi HFC banyak digunakan oleh para operator TV kabel di Amerika untuk menyalurkan layanan televisi secara *broadcast* melalui kabel. Untuk aplikasi layanan informasi dua arah pita lebar, sistem HFC dirancang dengan kemampuan *bandwidth* bisa mencapai 1000 MHz. Secara substansi sistem HFC merupakan pipa penyalur dengan *bandwidth* yang lebar. Untuk aplikasi layanan informasi dua arah, sistem HFC memerlukan *interface/gateway* tertentu yang sesuai dengan layanan yang dimaksud. Sistem HFC menggunakan sistem transmisi analog untuk menyalurkan/membawa informasi dari node ke *interface* pelanggan atau sebaliknya. [5]

2.6 Arsitektur Jaringan HFC (Hybrid Fiber Coaxial)



Gambar 2.4 Arsitektur Jaringan HFC

Pada arsitektur jaringan HFC (*Hybrid Fiber Coaxial*) terdapat 4 jenis elemen, yaitu headend, hub, fiber node dan terminal pada jaringan koaksial.

2.6.1 Headend

Headend merupakan bagian terpenting dari sistem HFC. Pada Headend, sinyal dari bermacam-macam sumber (seperti sinyal satelit) diterima dan diubah menjadi bentuk pengantaran sinyal yang semestinya. Headend terdiri atas beberapa bagian, antara lain adalah *receiver*, *demodulator/decoder*, *modulator*, *combiner*, *cable router* dan *optoelektronik*. [6]

2.6.2 Hub

Hub adalah pusat pentransmisi sinyal optik. Hub berfungsi sebagai pengirim, penerima dan pengendali sinyal RF, mengirimkan sinyal optik ke node-node yang ada di bawah pengawasannya, dan membangun hubungan ke node melalui medium serat optik. [7]

2.6.3 Fiber Node

Fiber node adalah node pada jaringan di mana sinyal optik dari *trunk* fiber diubah menjadi sinyal listrik untuk diteruskan ke kabel koaksial atau sebaliknya. Fiber node ini terdiri atas *optoelektronik* dan *power inserter*.

2.6.4 Terminal

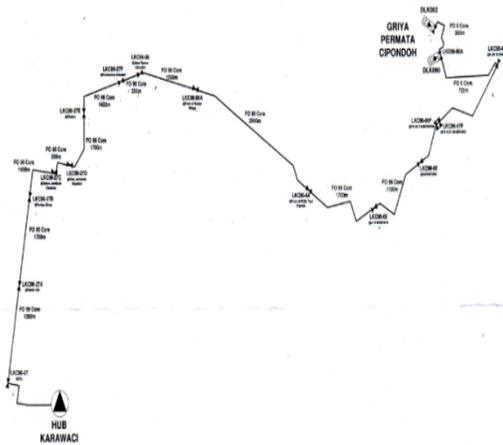
Merupakan antarmuka terminal pelanggan dengan jaringan koaksial pada jaringan HFC. Terminal pada jaringan koaksial terdiri dari 2 bagian yaitu *Cable modem* dan *Set Top Box (STB)*.

III. METODA ATAU PROSEDUR

3.1 Lokasi Aktivasi NRO

NRO (*New Roll Out*) adalah membangun area jaringan baru dengan infrastruktur yang sudah terpasang lengkap, dengan syarat lokasi dari area tertentu tersebut memiliki jarak yang masih dapat dijangkau yaitu ± 30 km dari sisi Hub. Sebagai *sample* yang dilakukan penelitian pada aktivasi NRO adalah area perumahan Griya Permata Cipondoh dengan identifikasi Node adalah :

1. DLK (Digital Lippo Karawaci) 09000 Perumahan Griya Permata Cipondoh Node 1.
2. DLK (Digital Lippo Karawaci) 09200 Perumahan Griya Permata Cipondoh Node 2.



Gambar 3.1 Logical Drawing Node Perumahan Griya Permata Cipondoh

3.2 Parameter Link Power Budget

1. Daya Transmitter (P_{tx}).
2. Daya Receiver (P_{rx}).
3. Redaman (Redaman serat optik, redaman sambungan dan redaman konektor).
4. Panjang *link* serat optik.

3.3 Alat Ukur Yang Digunakan

Pada proses pengukuran, alat ukur yang digunakan adalah OTDR jenis EXFO AXS-100. Dimana pada alat ukur ini berfungsi untuk mengetahui hasil redaman yang dihasilkan disepanjang *event* yang terjadi pada jaringan serat optik dengan hanya mengukur pada satu titik/ujung saja. [8]

3.4 Pengukuran Link Power Budget

Power budget adalah kualitas pancaran cahaya yang ditransmisikan melalui media serat optik menuju *receiver*, untuk memastikan pancaran cahaya yang ditransmisikan masih dapat diterima oleh penerima sesuai dengan spesifikasi yang ada. Pengukuran *link power budget* dilakukan pada area aktivasi NRO Griya Permata Cipondoh dengan identifikasi Node yaitu, area DLK 090 dan area DLK 092. [9]

3.4.1 Prosedur Pengukuran Link Power Budget

Sebelum melakukan pengukuran *link power budget* pada jaringan serat optik PT. First Media, maka dilakukan setting OTDR sebagai berikut :

Tabel 3.1 Setting OTDR DLK 090 & DLK 092

PARAMETER	NILAI
IOR	1,4677
Wavelength	1310 nm
Distance Range	25 km
Pulse Width	1 μ s
Backscatter	-79,44
Acquisition Time	30 s

3.4.2 Perhitungan Link Power Budget

Rumus yang digunakan pada perhitungan redaman dan *link power budget* pada jaringan serat optik *new area* aktivasi NRO DLK 090 dan DLK 092 adalah rumus persamaan 3.1 dan 3.2 dibawah ini. [10]

$$\Sigma \text{ Loss} = \{(af \times L) + (Lsp \times m) + (Lc \times n) \dots (3.1)$$

$$Prx = Ptx - (\Sigma \text{ Loss} + M) \dots (3.2)$$

Ket :

P_{tx} = Daya yang dipancarkan ke penerima optik (dBm)

P_{rx} = Daya yang diterima dari pemancar optik (dBm)

- α_f = Redaman serat optik per satuan panjang (dB/km)
- L = Panjang *link* serat optik (km)
- L_{sp} = Redaman sambungan (dB)
- m = Jumlah sambungan
- L_c = Redaman konektor (dB)
- n = Jumlah konektor
- M = Margin/toleransi penyusutan dari *power budget* (dB)

Untuk melengkapi spesifikasi perhitungan *link power budget* pada jaringan serat optik PT. First Media, maka diperlukan juga spesifikasi yang digunakan untuk menentukan layak/tidaknya suatu jaringan serat optik. Oleh karena itu, PT. First Media membuat standarisasi yang digunakan sebagai perbandingan tersebut seperti pada tabel 3.2 dibawah ini yang mengacu pada standart karakteristik serat optik *Recommendation ITU-T G.652*.

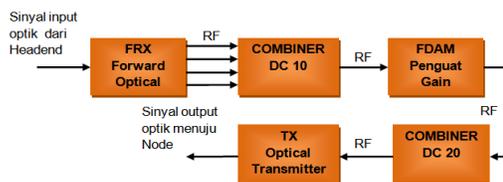
Tabel 3.2 Spesifikasi Serat Optik PT. First Media

KARAKTERISTIK	NILAI
Tipe Kabel	Single Mode
Mode Field Diameter (1310 nm)	0,5 μ m
Mode Field Diameter (1550 nm)	0,5 μ m
Diameter Cladding (1310 nm)	2 μ m
Diameter Cladding (1550 nm)	2 μ m
Atenuasi Maksimum pada 1310 nm	0,35 dB/km
Atenuasi Maksimum pada 1550 nm	0,25 dB/km
Loss Splice	0,20 dB/splice
Loss Konektor	0,25 dB/konektor

3.5 Konfigurasi Hub Karawaci

Hub merupakan pusat pentransmision sinyal optik. Hub mengirim dan menerima sinyal optik ke dan dari Node-node yang berada pada satu Hub *site*-nya serta juga mengirim, menerima dan mengendalikan sinyal RF. Pengkonfigurasi pada Hub perlu dilakukan agar terjadi sinkronisasi antara sinyal TX (*Transmitter*) dan sinyal RX (*Receiver*).

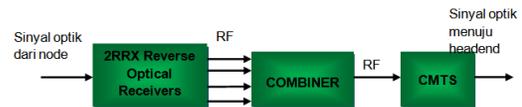
3.5.1 Konfigurasi Forward Hub Karawaci



Gambar 3.2 Blok Diagram Konfigurasi Forward Hub Karawaci

Blok diagram pada gambar 3.2 diatas menjelaskan konfigurasi untuk arah *forward* pada Hub Karawaci. Sinyal input optik yang dikirim dari Headend akan diterima oleh *Forward Optical Receiver* FRX dan kemudian sinyal optik akan diubah menjadi sinyal RF. Sinyal output yang berasal dari FRX selanjutnya di *combine*/digabungkan jadi satu oleh DC 10 (*Directional Coupler 10*) dan kemudian splitter membagi sinyal *forward* RF ke beberapa jumlah FDAM (*Forward Driving Amplification Module*) yang selanjutnya akan dikuatkan. Sinyak keluaran dari FDAM yang telah dikuatkan akan di *combine* lagi oleh DC 20 (*Directional Coupler 20*) yang berfungsi untuk menggabungkan sinyal *forward* dan *downstream* CMTS (*Cable Modem Termination System*). Sinyal RF yang masuk pada TX optik diubah kembali menjadi sinyal optik dan selanjutnya sinyal dipancarkan/didistribusikan menuju Node melalui jalur transmisi kabel serat optik.

3.5.2 Konfigurasi Reverse Hub Karawaci



Gambar 3.3 Blok Diagram Konfigurasi Reverse Hub Karawaci

Blok diagram pada gambar 3.3 diatas menjelaskan konfigurasi untuk arah *reverse* Hub Karawaci sinyal optik *upstream* yang dikirim dari Node akan diterima oleh *Reverse Optical Receiver* 2RRX dan selanjutnya sinyal optik akan diubah kembali menjadi sinyal RF. Keluaran dari 2RRX terdiri dari banyak sinyal RF yang kemudian digabungkan jadi satu oleh *combiner*, hal tersebut digunakan untuk mengatur Node berada pada posisi CMTS mana dan memudahkan *maintenance* dalam perawatan apabila terjadi gangguan. Kemudian sinyal keluaran dari CMTS sudah berupa sinyal optik yang selanjutnya akan di pancarkan/didistribusikan kembali melalui jalur transmisi kabel serat optik menuju Headend.

IV. HASIL DAN PENGUKURAN

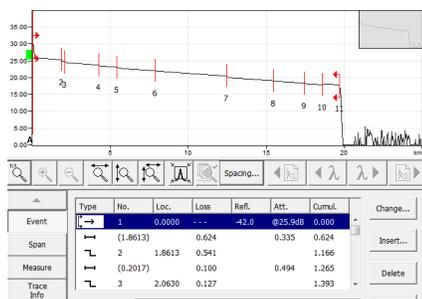
Dalam bab ini akan dilakukan analisa terhadap hasil data pengukuran dan perhitungan *link power budget* untuk mendapatkan hasil level daya terima yang sesuai dengan batas-batas spesifikasi perangkat Node Jinling. Pengukuran dan perhitungan *link power budget* dilakukan pada area aktivasi NRO Hub Karawaci ke Node Perumahan Griya Permata Cipondoh sebagai area perluasan pada jaringan HFC PT. First Media.

4.1 Data Pengukuran

Pengukuran dilakukan untuk mengetahui besar nilai redaman pada jaringan serat optik pada jalur *link budget*. Pengukuran redaman dilakukan menggunakan alat ukur OTDR *type* EXFO AXS-100, yang akan menunjukkan data dan grafik redaman terhadap jarak dari keadaan jaringan serat optik.

4.1.1 Data Pengukuran Redaman Area DLK 090

Setelah melakukan *test* dan *setting* awal parameter pada proses pengukuran redaman jaringan serat optik, maka dapat diketahui tampilan grafik *event* dari keadaan jaringan serat optik area DLK 090 pada layar display OTDR seperti gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Grafik Display OTDR Area DLK 090

Dari hasil grafik display diatas, dapat diketahui beberapa kondisi *event type* dari jaringan serat optik area DLK 090. Diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Launch Level

Merupakan *event type* awal yang terjadi pada titik *event* 1 yang berada pada jarak 0,0000 km. Yaitu level awal dipancarkannya sinyal dari sisi Hub menuju Node DLK 090.

2. Fiber Section

Merupakan *event type* dari kabel serat optik yang ditarik lurus sesuai dengan panjang kabel yang terukur disepanjang *link* serat optik dan terjadi tekukan kabel sehingga menimbulkan redaman.

3. Non-Reflective Fault

Merupakan *event type* yang terjadi pada titik *event* 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 dan 9. Terjadi karena akibat dari *core* serat optik yang tidak tersambung dengan baik pada proses penyambungan serat optik.

4. Positive Fault

Merupakan *event type* yang terjadi pada titik *event* 10. Terjadi karena akibat dari diameter *core* serat optik yang berbeda pada proses penyambungan serat optik.

5. Reflective Fault

Merupakan *event type* yang terjadi pada setiap akhir pengukuran, yaitu pada titik *event* 11.

Dari kondisi *event type* dan data event table jaringan serat optik pada DLK 090 didapatkan data

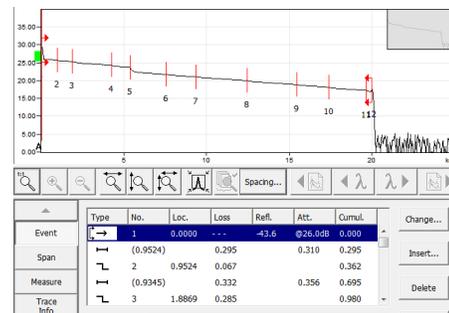
hasil pengukuran redaman jaringan serat optik pada area DLK 090, seperti pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengukuran Redaman Serat Optik DLK 090

Redaman Serat Optik	6,632 dB
Jarak Link Serat Optik	19,6907 km
Fiber Atenuasi	0,337 dB/km
Loss Splice	0,170 dB/splice
Loss Konektor	0 dB/konektor
Total Loss	8,159 dB

4.1.2 Data Pengukuran Redaman Area DLK 092

Setelah melakukan *test* dan *setting* awal parameter pada proses pengukuran redaman jaringan serat optik, maka dapat diketahui tampilan grafik *event* dari keadaan jaringan serat optik area DLK 092 pada layar display OTDR seperti gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4.2 Grafik Display OTDR Area DLK 092

Dari hasil grafik display diatas, dapat diketahui beberapa kondisi *event type* dari jaringan serat optik area DLK 092. Diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Launch Level

Merupakan *event type* awal yang terjadi pada titik *event* 1 yang berada pada jarak 0,0000 km. Yaitu level awal dipancarkannya sinyal dari sisi Hub menuju Node DLK 092.

2. Fiber Section

Merupakan *event type* dari kabel serat optik yang ditarik lurus sesuai dengan panjang kabel yang terukur disepanjang *link* serat optik dan terjadi tekukan kabel sehingga menimbulkan redaman.

3. Non-Reflective Fault

Merupakan *event type* yang terjadi pada titik *event* 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 dan 11. Terjadi karena akibat dari *core* serat optik yang tidak tersambung dengan baik pada proses penyambungan serat optik sehingga menimbulkan *loss*.

4. Reflective Fault

Merupakan *event type* yang terjadi pada setiap akhir pengukuran, yaitu pada titik *event* 12.

Dari kondisi *event type* dan *event table* jaringan serat optik pada DLK 092 didapatkan data hasil pengukuran redaman jaringan serat optik pada area DLK 092, seperti pada tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Data Hasil Pengukuran Redaman Serat Optik DLK 092

Redaman Serat Optik	6,395 dB
Jarak Link Serat Optik	19,9792 km
Fiber Atenuasi	0,320 dB/km
Loss Splice	0,260 dB/splice
Loss Konektor	0 dB/konektor
Total Loss	8,997 dB

4.2 Perhitungan Redaman

Perhitungan redaman dilakukan dengan menggunakan rumus persamaan 3.1 yang telah dijabarkan pada bab III. Data-data yang digunakan adalah data spesifikasi serat optik PT. First Media pada tabel 3.2 bab III dan data yang diperoleh dari *logical drawing* konfigurasi Hub Karawaci ke Node area aktivasi NRO Griya Permata Cipondoh pada tabel 4.3 dan 4.4 dibawah ini.

4.2.1 Perhitungan Redaman Area DLK 090

Tabel 4.3 Data Logical Drawing Area DLK 090

Jarak Link Serat Optik	19,6907 km
Jumlah Splice	9 Splice
Jumlah Konektor	2 konektor

$$\begin{aligned}
 \sum \text{Loss} &= \{(\alpha f \times L) + (L_{sp} \times m) + (L_c \times n)\} \\
 &= \{(0,35 \text{ dB/km} \times 19,6907 \text{ km}) + (0,2 \text{ dB/splice} \times 9 \text{ splice}) + (0,25 \text{ dB/konektor} \times 2 \text{ konektor})\} \\
 &= 6,892 \text{ dB} + 1,8 \text{ dB} + 0,5 \text{ dB} \\
 &= \mathbf{9,192 \text{ dB}}
 \end{aligned}$$

4.2.2 Perhitungan Redaman Area DLK 092

Tabel 4.4 Data Logical Drawing Area DLK 092

Panjang Link Serat Optik	19,9792 km
Jumlah Splice	10 Splice
Jumlah Konektor	2 konektor

$$\begin{aligned}
 \sum \text{Loss} &= \{(\alpha f \times L) + (L_{sp} \times m) + (L_c \times n)\} \\
 &= \{(0,35 \text{ dB/km} \times 19,9792 \text{ km}) + (0,2 \text{ dB/splice} \times 10 \text{ splice}) + (0,25 \text{ dB/konektor} \times 2 \text{ konektor})\} \\
 &= 6,993 \text{ dB} + 2 \text{ dB} + 0,5 \text{ dB} \\
 &= \mathbf{9,493 \text{ dB}}
 \end{aligned}$$

4.3 Analisa Redaman Jaringan Serat Optik PT. First Media

Dari hasil pengukuran dan perhitungan redaman terhadap *link budget* pada area aktivasi NRO DLK 090 dan DLK 092, maka dilakukan perbandingan hasil data pengukuran dan perhitungan redaman seperti pada tabel 4.5 dan 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.5 Data Perbandingan Nilai Redaman Area DLK 090

Data	Nilai Redaman		Selisih Nilai
	Hasil Pengukuran	Hasil Perhitungan	
Redaman Serat Optik (dB)	6,632	6,878	0,246
Loss Splice (dB/splice)	0,17	0,2	0,03
Loss Konektor (dB/konektor)	0	0,25	0,25
Jarak Link Serat Optik (km)	19,6907		-
\sum Loss (dB)	8,159	9,192	1,019
Loss/km (dB/km)	0,414	0,467	0,053

Tabel 4.6 Data Perbandingan Nilai Redaman Area DLK 092

Data Power Budget	Nilai Redaman		Selisih Nilai
	Hasil Pengukuran	Hasil Perhitungan	
Redaman Serat Optik (dB)	6,395	6,983	0,588
Loss Splice (dB/splice)	0,26	0,2	0,06
Loss Konektor (dB/konektor)	0	0,25	0,25
Jarak Link Serat Optik (km)	19,9792		-
Σ Loss (dB)	8,997	9,493	0,486
Loss/km (dB/km)	0,45	0,475	0,025

Pada analisa redaman, akan membahas mengenai redaman serat optik yang terjadi di sepanjang *link* jaringan serat optik pada area aktivasi NRO DLK 090 dan DLK 092 PT. First Media. Nilai redaman yang dihasilkan adalah hasil dari pengukuran dilapangan dan perhitungan redaman serat optik secara teoritis yang selanjutnya akan dibandingkan untuk mengetahui jaringan layak dioperasikan atau tidak.

4.3.1 Redaman Serat Optik

Perbedaan redaman kabel serat optik pada hasil pengukuran dan perhitungan disebabkan karena fiber atenuasi serat optik yang digunakan dalam perhitungan sesuai dengan standart serat optik *Single Mode* dengan *wavelength* 1310 nm yaitu sebesar 0,35 dB/km. Selain itu juga disebabkan karena tekukan kabel serat optik yang terjadi pada proses penarikan kabel. Namun hasil pengukuran dilapangan lebih kecil dari pada hasil perhitungan secara teoritis sehingga menyatakan redaman serat optik yang dihasilkan masih berada pada batas kelayakan. Untuk area DLK 090 hasil pengukuran didapatkan sebesar 6,632 dB dengan fiber atenuasi sebesar 0,34 dB/km dan untuk area DLK 092 hasil pengukuran didapatkan sebesar 6,395 dB dengan fiber atenuasi yang lebih bagus, yaitu sebesar 0,32 dB/km.

4.3.2 Loss Splice

Perbedaan *loss splice*/sambungan pada hasil pengukuran dan perhitungan disebabkan karena standart *loss* sambungan yang digunakan dalam perhitungan adalah sebesar 0,2 dB/splice dan karena proses penyambungan kabel serat optik yang tidak dilakukan dengan baik, mulai dari *core* yang kurang bersih, *core* serat optik yang tidak tersambung dengan baik dan diameter *core* serat optik yang berbeda antara serat optik yang disambung. Namun besar *loss* yang dihasilkan dari hasil pengukuran pada proses penyambungan serat optik area DLK 090 masih berada pada batas

kelayakan yaitu sebesar 0,170 dB/splice, sedangkan untuk area DLK 092 hasil pengukuran *loss* didapatkan sebesar 0,260 dB/splice dan hal tersebut melebihi dari batas kelayakan dari standart *loss splicing* PT. First Media yaitu dengan selisih 0,060 dB namun masih diperbolehkan atau dapat dikatakan sebagai nilai toleransi *loss splicing*.

4.3.3 Loss Konektor

Perbedaan *loss* konektor pada hasil pengukuran dan perhitungan disebabkan karena jenis konektor yang digunakan adalah konektor SC dengan standart *loss* konektor sebesar 0,25 dB/konektor, tetapi pada hasil pengukuran untuk area DLK 090 dan DLK 092 dihasilkan *loss* yang sangat kecil sehingga tidak terdeteksi pada OTDR karena konektor yang digunakan masih dalam keadaan sangat baik. Nilai *reflection* cahaya yang dipancarkan dan diterima oleh area DLK 090 adalah sebesar -42 dB dan -52,6 dB, sedangkan untuk area DLK 092 adalah sebesar -43,6 dB dan -54,4 dB. Hal ini menunjukkan bahwa nilai *reflection* cahaya untuk area aktivasi NRO Griya Permata Cipondoh masih sesuai dengan standart *reflection* sinyal cahaya dari konektor SC, yaitu sebesar <-60 dB.

Berdasarkan perbandingan hasil pengukuran dan perhitungan pada tabel 4.5 dan tabel 4.6 diatas, diperoleh hasil pengukuran dilapangan lebih kecil daripada hasil perhitungan yang menggunakan data spesifikasi serat optik PT. First Media pada tabel 3.2 bab III. Hal ini menunjukkan bahwa instalasi dari jaringan serat optik Hub Karawaci ke Node aktivasi NRO Griya Permata Cipondoh layak untuk dioperasikan. Pada hasil pengukuran redaman DLK 090, dihasilkan jumlah *loss* yang lebih kecil dibandingkan DLK 092. Hal tersebut disebabkan karena pada area DLK 090 *link* serat optik yang digunakan lebih pendek yaitu sepanjang 19,6907 km dengan total *loss* sebesar 8,159 dB, sedangkan untuk area DLK 092 *link* serat optik yang digunakan lebih panjang yaitu sepanjang 19,9792 km dengan total *loss* sebesar 8,997 dB. Namun hal tersebut bukan berarti *loss* yang diperoleh pada area DLK 092 tidak bagus, tetapi masih berada pada batas kelayakan yang diperbolehkan dalam pentransmisian cahaya serat optik *Single Mode* dengan *wavelength* 1310 nm.

4.4 Perhitungan Link Power Budget

Tabel 4.7 Data Spesifikasi Power Budget Hub Karawaci Ke Node DLK 090 dan DLK 092

KARAKTERISTIK	NILAI	
	DLK 090	DLK 092
Level Daya Transmitter (Ptx)	8 ~ 15 dBm	8 ~ 15 dBm
Level Daya Receiver (Prx)	-1,55 ~ 1,46 dBm	-1,55 ~ 1,46 dBm
Redaman SO 1310 nm (αf)	0,35 dB/km	0,35 dB/km
Panjang Link Serat Optik (L)	19,6907 km	19,9792 km
Loss Splice (Lsp)	0,20 dB/splice	0,20 dB/splice
Jumlah Splice (m)	9 Splice	10 Splice
Loss Konektor (Lc)	0,25 dB/konektor	0,25 dB/konektor
Jumlah Konektor (n)	2 Konektor	2 Konektor
Margin (M)	3 dB	3 dB

4.4.1 Perhitungan Link Power Budget Area DLK 090

❖ Untuk Ptx = 11 dBm
 $Prx = Ptx - (\sum Loss + M)$
 $= 11 \text{ dBm} - (9,192 \text{ dB} + 3 \text{ dB})$
 $= 11 \text{ dBm} - 12,192 \text{ dB}$
 $= -1,192 \text{ dBm}$ (Memenuhi spesifikasi level daya receiver perangkat)

❖ Untuk Ptx = 12 dBm
 $Prx = Ptx - (\sum Loss + M)$
 $= 12 \text{ dBm} - (9,192 \text{ dB} + 3 \text{ dB})$
 $= 12 \text{ dBm} - 12,192 \text{ dB}$
 $= -0,192 \text{ dBm}$ (Memenuhi spesifikasi level daya receiver perangkat)

❖ Untuk Ptx = 13 dBm
 $Prx = Ptx - (\sum Loss + M)$
 $= 13 \text{ dBm} - (9,192 \text{ dB} + 3 \text{ dB})$
 $= 13 \text{ dBm} - 12,192 \text{ dB}$
 $= 0,808 \text{ dBm}$ (Memenuhi spesifikasi level daya receiver perangkat)

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, didapatkan analisa *link power budget* dari daya receiver (Prx) yang diterima pada perangkat Node untuk area DLK 090 adalah -1,192 dBm hingga 0,808 dBm sehingga daya transmitter (Ptx) yang dipancarkan adalah sebesar 11 dBm hingga 13 dBm dengan panjang *link* kabel serat optik adalah sepanjang 19,6907 km. Dapat disimpulkan, bahwa dari hasil perhitungan level daya transmitter (Ptx) yang diterima masih berada pada batas spesifikasi level daya receiver (Prx) perangkat Node Jinling yaitu -1,55 dBm hingga 1,46 dBm.

4.4.2 Perhitungan Link Power Budget Area DLK 092

❖ Untuk Ptx = 11 dBm
 $Prx = Ptx - (\sum Loss + M)$
 $= 11 \text{ dBm} - (9,493 \text{ dB} + 3 \text{ dB})$
 $= 11 \text{ dBm} - 12,493 \text{ dB}$
 $= -1,493 \text{ dBm}$ (Memenuhi spesifikasi level daya receiver perangkat)

❖ Untuk Ptx = 12 dBm
 $Prx = Ptx - (\sum Loss + M)$
 $= 12 \text{ dBm} - (9,493 \text{ dB} + 3 \text{ dB})$
 $= 12 \text{ dBm} - 12,493 \text{ dB}$
 $= -0,493 \text{ dBm}$ (Memenuhi spesifikasi level daya receiver perangkat)

❖ Untuk Ptx = 13 dBm
 $Prx = Ptx - (\sum Loss + M)$
 $= 13 \text{ dBm} - (9,493 \text{ dB} + 3 \text{ dB})$
 $= 13 \text{ dBm} - 12,493 \text{ dB}$
 $= 0,507 \text{ dBm}$ (Memenuhi spesifikasi level daya receiver perangkat)

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, didapatkan analisa *link power budget* dari daya receiver (Prx) yang diterima pada perangkat Node untuk area DLK 092 adalah -1,493 dBm hingga 0,507 dBm sehingga daya transmitter (Ptx) yang dipancarkan adalah sebesar 11 dBm hingga 13 dBm dengan panjang *link* kabel serat optik adalah sepanjang 19,9792 km. Dapat disimpulkan, bahwa dari hasil perhitungan level daya transmitter (Ptx) yang diterima masih berada pada batas spesifikasi level daya receiver (Prx) perangkat Node Jinling yaitu -1,55 dBm hingga 1,46 dBm.

4.5 Analisa Kinerja Link Power Budget Pada Jaringan PT. First Media

Berdasarkan hasil perhitungan *link power budget* pada DLK 090 dan DLK 092, maka dapat diketahui level daya transmitter (Ptx) yang sesuai untuk digunakan pada area aktivasi NRO Griya Permata Cipondoh adalah 11 dBm hingga 13 dBm dengan level daya receiver (Prx) yang dapat diterima adalah seperti pada tabel 4.8 dibawah ini.

Tabel 4.8 Data Hasil Perhitungan Daya Receiver (Prx)

Daya Transmitter (Ptx)	Daya Receiver (Prx)	
	DLK 090	DLK 092
11 dBm	-1,192	-1,493
12 dBm	-0,192	-0,493
13 dBm	0,808	0,507

Data pada tabel 4.8 diatas adalah data hasil perhitungan daya *receiver* (Prx) yang didapatkan berdasarkan hasil perhitungan *link power budget* Hub Karawaci ke Node DLK 090 dan DLK 092. Dari data hasil analisa perhitungan pada tabel 4.10 menyatakan bahwa level daya *transmitter* (Ptx) yang dipancarkan Hub Karawaci ke Node DLK 090 dan DLK 092 adalah sebesar 11 dBm hingga 13 dBm agar sesuai dengan level daya *receiver* (Prx) dari perangkat Node Jinling yaitu sebesar -1,55 dBm hingga 1,46 dBm. Untuk area DLK 090 level daya *receiver* (Prx) yang dapat diterima sebesar -1,192 dBm hingga 0,808 dBm, sedangkan untuk area DLK 092 level daya *receiver* (Prx) yang dapat diterima sebesar -1,493 dBm hingga 0,507 dBm. Dan dibawah ini adalah grafik perhitungan daya *receiver* (Prx) area DLK 090 dan DLK 092 berdasarkan data pada tabel 4.10.

Setelah dilakukan analisa data-data yang diperoleh dari pengukuran dan perhitungan yang telah dijabarkan di atas, dengan demikian *power* sinyal optik yang ditransmisikan dari Hub melalui kabel serat optik dan diterima oleh Node DLK 090 dan DLK 092 adalah sebesar :

Tabel 4.9 Data Perbandingan Daya Transmitter (Ptx) dan Daya Receiver (Prx) Area DLK 090 dan DLK 092

Node Area Aktivasi NRO	Hasil Perhitungan		Hasil Pengukuran	
	Ptx (dBm)	Prx (dBm)	Ptx (dBm)	Prx (dBm)
DLK 090	12	-0,192	9,82	-0,18
DLK 092	11	-1,493	9,44	-1,55

Data diatas adalah data hasil perbandingan daya *transmitter* (Ptx) dan daya *receiver* (Prx) pada area aktivasi NRO Griya Permata Cipondoh. Perbedaan hasil perhitungan dan pengukuran untuk daya *transmitter* (Ptx) itu disebabkan karena apabila disisi Hub memancarkan daya sesuai dengan hasil perhitungan, daya *receiver* (Prx) yang diterima pada perangkat Node akan menerima daya yang terlalu tinggi sehingga tidak sesuai dengan level daya *receiver* (Prx) perangkat Node dengan level sebesar -1,55 dBm hingga 1,46 dBm. Daya *transmitter* yang dipancarkan perlu diturunkan sinyalnya, agar daya *receiver* yang diterima perangkat sesuai dengan spesifikasi yang ada. Tetapi dari hasil pengukuran dan perhitungan daya *transmitter* (Ptx) kita ketahui masih sesuai dengan level daya *transmitter* perangkat Hub, yaitu sebesar 8 dBm hingga 15 dBm.

Sedangkan untuk daya *receiver* (Prx) yang diterima pada perangkat Node juga masih dapat diterima dengan baik sesuai dengan level daya *receiver* pada area DLK 090, yaitu sebesar -0,18 dBm dengan *power* sebesar 0,96 mW dan DC

voltage sebesar 4,8 v, untuk perhitungan diambil daya *receiver* yang mendekati hasil pengukuran yaitu sebesar -0,192 dBm dengan selisih sebesar 0,012 dBm. Pada area DLK 092 daya *receiver* (Prx) yang diterima pada perangkat Node juga masih dapat diterima dengan baik sesuai dengan level daya *receiver*, yaitu sebesar -1,55 dBm dengan *power* sebesar 0,70 mW dan DC *voltage* sebesar 3,5 v, untuk perhitungan diambil daya *receiver* yang mendekati hasil pengukuran yaitu sebesar -1,493 dBm dengan selisih sebesar 0,057 dBm. Perbedaan tersebut disebabkan karena *loss* dan redaman serat optik yang diukur dan perhitungan secara teori mendapatkan hasil yang berbeda dan daya *transmitter* yang dipancarkan juga berbeda, tetapi hasil pengukuran dan perhitungan sangat mendekati dan masih berada pada level daya terima perangkat Node Jinling yaitu -1,55 dBm hingga 1,46 dBm.

Link power budget dipengaruhi oleh daya *transmitter* (Ptx). Semakin besar daya *transmitter* (Ptx) yang dipancarkan maka semakin besar pula daya *receiver* (Prx) yang diterima. Daya *receiver* (Prx) yang diterima pada area DLK 090 lebih besar dari pada area DLK 092, hal tersebut dipengaruhi oleh jarak *link* serat optik yang digunakan pada area DLK 092 lebih panjang, selain itu juga disebabkan oleh redaman dan *loss* yang dihasilkan pada jaringan serat optik area DLK 092 lebih besar dari area DLK 090.

Hasil akhir dari kinerja *link power budget* pada proses aktivasi NRO dapat disimpulkan menunjukkan tingkat keberhasilan dari kinerja *link power budget* Hub Karawaci ke *new area* aktivasi NRO Node Griya Permata Cipondoh DLK 090 dan DLK 092 dapat ditransmisikan secara baik pada jaringan HFC PT. First Media sesuai dengan level daya *receiver* (Prx) yang diterima.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kinerja *link power budget* pada jaringan HFC PT. First Media, maka dapat diketahui kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil dari perbandingan nilai redaman dari hasil pengukuran dilapangan dan perhitungan secara teoritis area DLK 090 dan DLK 092 pada tabel 4.5 dan 4.6, didapatkan perbedaan redaman kabel disebabkan karena fiber atenuasi yang digunakan dalam perhitungan adalah sebesar 0,35 dB/km dan karena adanya tekukan kabel. Perbedaan *loss splice* disebabkan karena proses penyambungan kabel serat optik yang tidak dilakukan dengan baik, mulai dari *core* yang kurang bersih, *core* serat optik yang tidak tersambung dengan baik dan diameter *core* serat optik yang berbeda antara serat optik yang disambung. Sedangkan perbedaan *loss* konektor disebabkan karena jenis konektor yang digunakan adalah konektor SC dengan standart *loss* konektor sebesar 0,25 dB/konektor.
2. Pada hasil perbandingan hasil pengukuran redaman dilapangan dan perhitungan redaman secara teoritis pada area aktivasi NRO DLK 090 dan DLK 092, didapatkan hasil nilai dari pengukuran dilapangan lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil perhitungan secara teoritis. Hal tersebut menunjukkan bahwa jaringan serat optik pada area aktivasi NRO layak untuk dioperasikan.
3. Berdasarkan hasil data pada tabel 4.9 menyatakan bahwa daya *receiver* (Prx) yang terima masih sesuai dengan level daya *receiver* (Prx) perangkat yaitu -1,55 dBm hingga 1,46 dBm. Untuk area DLK 090, yaitu sebesar -0,18 dBm dengan *power* sebesar 0,96 mW dan DC *voltage* sebesar 4,8 v, sedangkan untuk area DLK 092, yaitu sebesar -1,55 dBm dengan *power* sebesar 0,70 mW dan DC *voltage* sebesar 3,5 v. Perbedaan tersebut disebabkan karena pada area DLK 090 total *loss* yang dihasilkan lebih kecil dari area DLK 092.
4. Dari data hasil akhir kinerja *link power budget* dapat diambil kesimpulan bahwa pada proses aktivasi area NRO menunjukkan kualitas dan tingkat keberhasilan pancaran cahaya pada

jaringan serat optik dapat ditransmisikan dengan baik dari Hub Karawaci ke Node Griya Permata Cipondoh sesuai dengan level daya *receiver* (Prx) yang diterima.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ranny Dwidayanti. *Fiber Optik (Serat Optik)*. Makalah, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2009.
- [2] Sufandi. Teori Fiber Optik. Diakses dari <http://mrsufandi.blogspot.com/2009/teorifiberopitik.html>, 18 mei 2011.
- [3] Andi Rahman Nugraha, ST. *Serat Optik*, ANDI, Yogyakarta, 2006.
- [4] Dian Yudi Nugroho. *Studi Pengukuran Rugi-Rugi Serat Optik Pada Empat Rute STO di Jawa Tengah Dengan Menggunakan OTDR*. Laporan penelitian, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 2005.
- [5] PT. Telekomunikasi Indonesia, Tbk. *PL-1 Basic Knowledge : Hybrid Fiber Coaxial Network*. Dokumen Teknis, PL-1 Versi 1.0, PT. Telekomunikasi Indonesia, Tbk, Bandung, 2004.
- [6] Casi Setianingsih, Prima Merliyasari. *Hybrid Fiber Coax (HFC)*. Makalah. Diakses dari <http://www.scribd.com/doc/49598055/makalah-HFC>, 21 April 2011.
- [7] Ananto Indra Dewi. *Short Training-First Media*. EXFO Expertise Reching Out, Jakarta, 2007.
- [8] Alwis Martin Edwar. *Analisa Perhitungan Rugi-Rugi Transmisi dan Pengukuran Kabel Serat Optik Menggunakan OTDR*. Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Jakarta, 2010.
- [9] Endy Kusuma Wadhana. *Analisa Redaman Serat Optik Terhadap Kinerja Menggunakan Metode Optical Link Power Budget*. Laporan penelitian, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2010.
- [10] PT. Telekomunikasi Indonesia, Tbk. *PL-5 Basic Planning & Design : Hybrid Fiber Coaxial Network*. Dokumen Teknis, PL-5 Versi 1.0, PT. Telekomunikasi Indonesia, Tbk, Bandung, 2004.