

Makalah Seminar Tugas Akhir

Analisis Penerapan Layanan Broadband Pada Kabel Tembaga

Oleh : Rony Febryarto

Nim : L2F399435

Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro

Abstrak

Layanan informasi yang terdiri dari beberapa macam aplikasi seperti Voice, Data, dan Video dapat disatukan dalam satu piranti yang disebut sebagai layanan broadband. Jaringan lokal eksisting akses tembaga dianggap kurang memadai untuk melewati layanan broadband yang membutuhkan ketersediaan bandwidth yang lebar. Diperkenalkannya layanan xDSL yaitu diantaranya DSL (Digital Subscriber Line), HDSL(High data rate Digital Subscriber Line) dan ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line) dapat melewati layanan broadband melalui jaringan kabel tembaga .

1. Pendahuluan

Jaringan lokal eksisting dengan akses tembaga termasuk yang mendominasi jaringan telekomunikasi di Indonesia dikenal dengan istilah Satuan Sambungan Telepon (SST).

Perkembangan dari teknologi telekomunikasi yang diikuti oleh kemajuan teknologi informasi berdampak pada beragamnya aplikasi layanan, bukan saja voice tetapi juga meliputi data dan video dan mulai diperkenalkan istilah baru yaitu Satuan Sambungan Layanan (SSL).

Jaringan lokal akses serat optik sebagai jaringan kecepatan tinggi diharapkan dapat mengakomodasi layanan broadband. Namun penggantian jaringan lokal akses tembaga dengan jaringan lokal akses serat optik membutuhkan biaya pembangunan yang besar.

Layanan broadband dengan kecepatan tinggi tentunya membutuhkan bandwidth yang lebar pula. Melihat perkembangan tersebut, jaringan lokal eksisting tembaga yang ada sekarang tampaknya kurang mampu melewati layanan broadband.

Kemampuan kabel tembaga dapat ditingkatkan dengan teknologi xDSL untuk dapat melewati layanan broadband.

Sebelum diterapkan teknologi xDSL, perlu dikaji terlebih dahulu parameter yang berpengaruh terhadap unjuk kerja jaringan lokal eksisting, parameter yang berpengaruh yaitu parameter redaman, crosstalk (cakap silang), dan panjang saluran. Jaringan lokal eksisting dianalisis dengan mengadakan pengukuran dari mode MDF (Main Distribution Frame), Rumah Kabel (RK)

hingga DP (Distribution Point) seberapa besar pengaruh parameter-parameter tersebut untuk kelayakan layanan broadband.

2. Layanan Broadband

2.1. DSL (Digital Subscriber Line)

DSL merupakan modem yang digunakan untuk mentransmisikan layanan transmisi secara duplex (dua arah sekaligus, dari pengirim dan penerima).

DSL (Digital Subscriber Line) dapat mengirimkan data hingga kecepatan 160 Kbps melalui kabel akses tembaga yang berdiameter 0,6 mm dan terbentang sepanjang 6 km.

Mode transmisi pada DSL adalah simetris yaitu kecepatan data dapat dikirim dari dua arah yaitu dari pelanggan ke sentral (Upstream) dan arah terima di pelanggan dari sentral (Downstream) sama besar kecepatannya.

Teknik modulasi yang digunakan dalam DSL adalah QAM (Quadrature Amplitude Modulation) dan teknik line coding yang digunakan adalah 2B1Q (2 Binary 1 Quaternary) yaitu pengkodean yang mengkonversikan 2 buah bit biner menjadi sebuah simbol kuartener dengan 4 level baud yang disebut quat.

Kanal yang dipergunakan pada DSL adalah dua kanal B masing-masing berkecepatan 64 Kbps yang berfungsi untuk membawa sinyal informasi dalam bentuk suara, data atau video dan satu kanal D berkecepatan 16 Kbps yang berfungsi sebagai pensinyalan.

2.2. HDSL (High data rate Digital Subscriber Line)

Perkembangan DSL terus berjalan dan menemukan bentuk teknologi baru yang dikenal sebagai HDSL yaitu teknologi modem yang menggunakan 2 pair kabel tembaga untuk mengirim sinyal digital hingga 1,5 Mbps atau 2 Mbps.

Munculnya dua kecepatan data tersebut dikarenakan adanya penggunaan dua standar acuan yang berbeda yaitu ETSI (*European Telecommunication Standards Institute*) dengan kode E1 menggunakan 1,5 Mbps dan ANSI (*American National Standard Institute*) dengan kode T1 menggunakan 2 Mbps .

Mode transmisi yang dipakai pada HDSL sama dengan DSL yaitu simetris dimana kecepatan arah kirim *Upstream* dan *Downstream* adalah sama besar yaitu hingga 1,5 Mbps atau 2 Mbps.

Teknik modulasi yang digunakan dalam HDSL adalah QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) dan teknik *line coding* yang digunakan adalah 2B1Q (*2 Binary 1 Quaternary*).

2.3. ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)

Mode transmisi ADSL bersifat asimetris. Biasanya pengiriman data seperti film atau gambar dari sumber layanan (*server*) ke arah pelanggan (*down-stream*) membutuhkan kecepatan transmisi yang tinggi. Hal ini disesuaikan dengan karakteristik pelanggan yang lebih banyak melakukan *download process* daripada *upload process*.

Kecepatan data yang dilayani oleh modem ADSL bervariasi yaitu :

- *downstream* mulai dari 2 Mbps hingga 8 Mbps, dan

- *upstream* mulai dari 64 Kbps dari hingga 1 Mbps.

Teknik *line coding* yang digunakan adalah DMT (*Discrete Multi Tone*). Disamping itu dengan menggunakan DMT memungkinkan ADSL menjadi *rate adaptive* (kecepatan transmisi dapat berubah relatif mengikuti performansi jaringan kabel tembaga yang digunakan untuk media transmisinya).

3. Redaman

Persamaan redaman (α) pada suatu saluran transmisi adalah sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.1)$$

Dimana :

α = redaman saluran (Np / km)

R = resistansi (ohm / km)

L = induktansi (Henry / km)

C = kapasitansi (Farad / km)

G = konduktansi (mho/km)

Dimana :

$$R = \frac{2 \rho}{0,25 \cdot \pi \cdot d^2} \quad (\Omega / \text{km}); \quad (2.2)$$

untuk frekuensi tinggi :

$$R_h = R \left(\frac{d + \delta}{4 \delta} \right) \quad (\Omega / \text{km}) \quad (2.3)$$

R_h = nilai resistansi pada frekuensi tinggi (ohm / km)

R = nilai tahanan pada frekuensi rendah (ohm / km)

ρ = tahanan jenis konduktor (ohm mm²/km). Untuk tembaga nilainya 0,01754.10³ ohm mm²/km

d = diameter penampang konduktor (mm).

δ = Efek kulit (*skin effect*), disebabkan oleh desakan arus di dalam penghantar (mm)

$$\delta = \sqrt{\frac{2 \rho}{\omega \cdot \mu}} \quad (2.4)$$

ω = 2.π.f ,

f = frekuensi kerja (Hz)

μ = permeabilitas konduktor. (H / m)

$\mu = \mu_o \cdot \mu_r$.

Pada tembaga $\mu_o = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ H/m

μ_r = permeabilitas media , untuk udara = 1

Induktansi pada kabel dua kawat terdiri atas induktansi luar L_{ex} dan induktansi dalam L_{in} .

Maka L (mH/km) = $L_{in} + L_{ex}$.

Induktansi dalam (L_{in}) :

$$L_{in} = \frac{2 \cdot \mu \cdot \delta}{4 \cdot \pi \cdot d} \quad \text{mH/km} \quad (2.5)$$

Induktansi luar (L_{ex}) :

$$L_{ex} = \frac{\mu}{\pi} \ln \left[\frac{s}{d} + \left(\frac{s^2}{d^2} + 1 \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad \text{mH/km} \quad (2.6)$$

Dimana :

δ = efek kulit untuk kawat tembaga (mm)

μ = permeabilitas (H / m)

s = jarak antara dua konduktor (mm) yaitu $d + (2 \times \text{tebal isolator})$
 d = diameter kabel (mm)
 Kapasitansi untuk kabel berisi *polyethylene* adalah :

$$C = \frac{\pi \cdot \epsilon}{\ln \left(\frac{s}{d} + \sqrt{\frac{s^2}{d^2} - 1} \right)} \quad (2.7)$$

Dimana :
 C = kapasitansi saluran (Farad)
 ϵ = permeativitas (nF/ km)
 $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$
 $\epsilon_0 = 8,85 \text{ nF/km}$
 ϵ_r untuk *polyethylene* = 2,26,
 ϵ_r untuk udara = 1
 s = jarak antar kabel (mm)
 d = diameter kabel (mm)
 $G = \omega \cdot C \tan \phi \quad (2.8)$

Dimana :
 G = konduktansi (mho)
 ω = frekuensi sudut (Hz)
 C = kapasitansi konduktor (F/km)
 $\tan \phi$ = faktor rugi-rugi bahan isolasi.

3.1. Perhitungan Redaman

Hasil yang diperoleh dari hasil perhitungan redaman dengan persamaan 2.1 dan turunannya adalah seperti pada tabel 2.1. berikut :

Tabel 2.1.

Frekuensi (Hz)	Redaman (dB)		
	d=0,8	D=0,6	d=0,4
800	0,805	0,999	1,739
1000	0,857	1,05	1,835
40000	2,922	3,179	5,002
80000	3,875	4,13	6,395
150000	5,07	5,319	7,998
300000	6,9	7,134	10,514

Dari tabel 2.1 di atas menunjukkan bahwa semakin besar diameter kabel maka redaman kabel semakin kecil dan bila frekuensi semakin besar maka redaman yang diperoleh semakin besar pula.

3.2. Pengukuran Redaman

Pengukuran redaman terhadap frekuensi dilakukan dari MDF hingga RK di

STO Singotero dan diuji coba pada kabel primer diameter 0,6 mm yang masih kosong sehingga tidak mengganggu pemakaian pelanggan. Hasil pengukuran redaman terhadap frekuensi diperlihatkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Pengukuran Redaman.

No. urat Primer	Redaman pada f=800 Hz	Redaman pada f=80000 Hz	Redaman pada f=150000 Hz	Redaman pada f=300000 Hz
217	1,2	6,1	7,5	10,4
218	1,2	6,1	7,5	10,4
219	1,2	5,7	7	9,7
220	1,1	5,5	6,8	9,4

Dari tabel 2.2 di atas juga menunjukkan bila frekuensi semakin besar maka redaman yang diperoleh semakin besar pula.

Dari tabel 2.1 dan 2.2 menunjukkan secara umum bahwa redaman akan bertambah sesuai dengan bertambahnya frekuensi yang digunakan. Karena hasil perhitungan didapatkan dari penggunaan rumus, maka pada kabel 0,6 mm diperoleh hasil lebih kecil daripada hasil pengukuran, hal ini disebabkan karena pada hasil perhitungan belum dipengaruhi besarnya medan magnet dan medan listrik yang mempengaruhi redaman serta struktur kabel yang melilit-lilit sehingga membuat redaman bertambah.

Namun hasil yang ini masih sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh PT Telkom pada hasil perhitungan atau pengukuran pada diameter 0,6 mm.

4. Cakap Silang.

Noise akibat cakap silang adalah kejadian yang disebabkan oleh sinyal yang tidak diinginkan dimana ada pengaruh antar penghantar. Pengaruh tersebut disebabkan adanya induksi dan pengkopelan kapasitif yaitu pada urat kabel (*pair*) yang satu dapat didengar oleh urat kabel yang lain.

Dikenal ada dua jenis cakap silang yaitu FEXT (*Far End Crosstalk*) merupakan cakap silang ujung jauh dan NEXT (*Near End Crosstalk*) merupakan cakap silang ujung dekat. Berdasarkan pengaruh transmiter (pengirim) dan tipe sistem DSL maka cakap silang terdiri atas :

- ♦ *Self Crosstalk* disebabkan karena transmiter yang berdekatan pada tipe

sistem DSL yang sama, misal HDSL dengan HDSL.

- ◆ *Foreign Crosstalk* disebabkan karena pengaruh sistem DSL pada tipe sistem yang berbeda, misal pada DSL dengan HDSL.

4.1. Perhitungan Cakap Silang.

4.1.1. Perhitungan NEXT.

Dalam perhitungan untuk mengukur NEXT digunakan persamaan 4.1 dan 4.2. sebagai berikut :

$$\text{NEXT (dB)} = 10 \log K_N + 15 \log f \quad (4.1)$$

NEXT = cakapsilang ujung dekat dalam dB
 f = frekuensi yang dipakai (Hz)

K_N = konstanta NEXT (second)

Dimana :

$$K_N = \frac{4\pi^2}{2(k_1 + k_2)} \left(\frac{CZ_o}{8} + \frac{L}{Z_o} \right) \quad (4.2)$$

$$k_1 = \text{konstanta redaman kabel1} = \sqrt{R_1 \cdot C}$$

$$k_2 = \text{konstanta redaman kabel2} = \sqrt{R_2 \cdot C}$$

$R_{1,2}$ = Resistansi saluran terganggu dan saluran pengganggu (ohm).

C = mutual kapasitansi (Farad)

L = Induktansi kabel (Henry)

Z_o = karakteristik impedansi (ohm),

$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ ohm.}$$

Dari persamaan diatas maka didapatkan nilai perhitungan NEXT berdasarkan dengan frekuensi yang berbeda dan pada diameter kawat 0,4 dan 0,6 mm. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 4.1 Perhitungan NEXT

Frekuensi (KHz)	NEXT (dB)	
	d = 0,4 mm	d = 0,6 mm
40	55,73	56
80	59,86	60,15
150	63,64	63,94
300	67,78	68,45

4.1.2. Perhitungan FEXT

Dalam perhitungan untuk mengukur NEXT digunakan persamaan 4.3 dan 4.4. sebagai berikut :

$$\text{FEXT (dB)} = 10 \log K_f + 20 \log f + 10 \log L' \quad (4.3)$$

dimana :

L' = panjang saluran (m) ;

f = frekuensi (Hz) ;

K_f = konstanta FEXT yang tergantung dari jenis kabel yang besarnya adalah :

$$K_f = 4\pi^2 \left(\frac{L}{Z_o} - \frac{C \cdot Z_o}{8} \right) \quad (4.4)$$

dimana :

C, L = Kapasitansi (Farad) dan induktansi (Henry) antara saluran pengganggu dan saluran terganggu ;

Z_o = impedansi karakteristik (ohm);

Besarnya FEXT untuk kabel dua kawat yang berdiameter 0,4 mm, dan 0,6 mm pada frekuensi yang berbeda-beda dari 40 KHz sampai 300 KHz ditunjukkan seperti terlihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Perhitungan FEXT

Frekuensi (KHz)	FEXT (dB)	
	d = 0,4 mm	d = 0,6 mm
40	78,4	78,2
80	81,8	81,6
150	84,2	84,1
300	86,1	85,9

Dari tabel 3.1 dan 3.2 terlihat bahwa perbedaan diameter kabel tidak begitu berpengaruh terhadap nilai NEXT / FEXT atau dapat dikatakan bernilai hampir sama.

4.2. Pengukuran Cakap Silang

Data pengukuran cakap silang NEXT dan FEXT dengan menggunakan kawat dengan diameter berbeda-beda dengan jarak yang berbeda pula diambil contoh dari pengukuran seperti pada tabel 3.3. berikut.

Tabel 3.3. Pengukuran NEXT/FEXT

No	Jenis Kabel	Jumlah pair	NEXT/ FEXT pada 300 KHz
1	Multipair 0,6 mm	2	67/74
2	Multipair 0,6 mm	2	65/77
3	Multipair 0,8 mm	2	61/84
4	Multipair 0,8 mm	2	79/94
5	Multipair 0,4 mm	2	63/75
6	Multipair 0,4 mm	2	65/77
7	Multipair 0,4 mm	2	64/77
8	Multipair 0,6 mm	2	67/74

Sedangkan standar cakup silang NEXT dan FEXT yang ditetapkan oleh PT.Telkom untuk jenis layanan HDSL adalah seperti tabel 3.4. berikut.

Tabel 3.4 Standar cakapsilang PT.Telkom

Jenis Layanan	Kabel d=0,4 mm	Kabel d=0,6 mm	Keterangan
HDSL	≥ 65 dB	≥ 65 dB	NEXT
HDSL	≥ 85 dB	≥ 85 dB	FEXT

Secara keseluruhan pada hasil perhitungan dan pengukuran pada *crosstalk* terjadi perbedaan, dimana nilai pengukuran lebih kecil dari perhitungan.

Hal ini bisa disebabkan oleh adanya medan magnet dan medan listrik, dimana pengaruh medan magnet dan medan listrik ini dapat berpengaruh pada *crosstalk*. Pada perhitungan, asumsi jaringan adalah merupakan dua kabel yang sejajar. Jadi medan magnet dan medan listrik pada kabel satu dan kebel yang lain tidak bisa saling mempengaruhi. Sedangkan pada pengukuran, kabel yang diukur adalah kabel yang ada pada kondisi sekarang ini, dimana kabel adalah merupakan belitan-belitan yang terdiri dari banyak kabel. Dengan belitan tersebut medan magnet dan medan listrik pada kabel-kabel tersebut saling mempengaruhi dan ini akan dapat mengurangi *crosstalk*.

Dari hasil perbandingan diatas, dapat dilihat bahwa performansi jaringan untuk diterapkannya HDSL dari studi yang telah dilakukan pada sentral-sentral tersebut rata-rata telah dipenuhi. Walaupun ada yang belum mempunyai karakteristik yang cukup baik, namun hal ini bisa diatasi dengan pengkondisian yang lainnya. Walaupun dalam uji tersebut baru pada hubungan antar sentral. Nantinya, pada waktu yang akan datang disaat pelanggan mulai membutuhkan jaringan yang mampu untuk mentransmisikan sinyal dengan laju bit yang besar, maka teknologi HDSL ini akan dapat membantu menunjang kebutuhan ini.

5. Analisis Jangkauan Downstream Modem HDSL

Berdasarkan hasil perhitungan redaman persatuan panjang pada layanan HDSL dengan kabel berdiameter 0,6 mm pada frekuensi 300 KHz dan kecepatan

downstream 6 MHz dapat dihitung panjang maksimum saluran (*l*) dengan persamaan 3.5 :

$$l = \frac{\text{loss}(dB)}{\text{redaman} / \text{satuanpanjang}(dB / km)}$$

- Jangkauan layanan maksimum layanan HDSL dengan teknik FDM dan diinstalasi bersama layanan 2 Mbps atau layanan lainnya dalam satu bundel kabel :

$$l = \frac{25 \text{ dB}}{7,134 \text{ dB} / km} = 3,50 \text{ km}$$

- Jangkauan maksimum layanan HDSL dengan teknik FDM dan tidak diinstalasi bersama layanan 2 Mbps atau layanan lainnya dalam satu bundel kabel :

$$l = \frac{41 \text{ dB}}{7,134 \text{ dB} / km} = 5,75 \text{ km}$$

- Jangkauan maksimum HDSL dengan teknik dengan teknik *echocancellation* dan diinstalasi bersama layanan 2 Mbps atau layanan lainnya dalam satu bundel kabel :

$$l = \frac{27 \text{ dB}}{7,134 \text{ dB} / km} = 3,79 \text{ km}$$

- Jangkauan maksimum layanan HDSL dengan teknik *echocancellation* dan tidak diinstalasi bersama layanan lainnya :

$$l = \frac{40 \text{ dB}}{7,134 \text{ dB} / km} = 5,61 \text{ km}$$

Dari perhitungan diatas, penggunaan teknik FDM pada HDSL memperlihatkan jangkauan layanan yang lebih jauh dibandingkan menggunakan teknik *echo cancellation* bila tidak diinstalasi dengan layanan lainnya.

6. Analisis Eb/No

Salah satu cara untuk mengetahui unjuk kerja sistem transmisi digital lainnya adalah dengan mengetahui nilai Eb/No sehingga probabilitas bit (P_B) berkisar 10^{-7} atau kurang dari 10^{-7} . Standar Telkom untuk nilai P_B adalah 10^{-7} dapat diketahui besarnya probabilitas bit error rate.

Perhitungan bit error rate dan E_b / No dengan mengambil contoh hasil pengukuran layanan HDSL oleh PT Telkom. Analisa pengukuran pada kabel dalam quad yang

sama dengan panjang saluran 1128 meter sebagai berikut :

Parameter yang diketahui dari hasil pengukuran :

- Nilai S/N = 41,5 dB
- Sistem level = 20 dBm
- Loss (redaman kabel) = 8,3 dB pada frekuensi kerja 300 KHz
- Dari parameter diatas dapat dihitung :
- Receive level = Sistem level – loss (redaman kabel)
= 20 dBm – 8,3 dB
= 11,7 dBm
- *bandwidth* HDSL DMT dibatasi oleh filter versi ETSI pada SLT yaitu 20 KHz hingga 1,1 MHz dengan bit rate 6048 Kbps. Bandwidth sistem dapat diperoleh dari perhitungan :
$$B = 1100 \text{ KHz} - 20 \text{ KHz}$$
$$= 1080 \text{ KHz}.$$

$$\frac{B}{R} = \frac{1080 \text{ KHz}}{6048 \text{ Kbps}} = 0,179 = -7,47 \text{ dB}$$

- Dari persamaan 3.3 nilai E_b/N_o didapat :

$$\frac{E_b}{N_o} = \left(\frac{S}{N} \right) + \left(\frac{B}{R} \right) = 41,5 + (-7,47) = 34,03 \text{ dB}$$

Sehingga dari persamaan diatas diperoleh E_b / N_o dari penggunaan modem HDSL sebesar 34,03 dB.

7. Kesimpulan

1. Nilai FEXT hasil pengukuran memperlihatkan kecederungan bertambah besar pada saluran yang bertambah panjang.
2. Posisi instalasi sistem xDSL pada kabel yaitu kedekatan jarak antara pair atau quad berpengaruh terhadap besarnya nilai cakap silang. Dari hasil pengukuran di lapangan maupun perhitungan terlihat bahwa noise akibat cakap silang cenderung menurun pada konfigurasi beda unit antara pair yang satu dengan pair yang lain.
3. Penggunaan teknik FDM pada HDSL dari hasil perhitungan memperlihatkan jangkauan layanan

yang lebih panjang dibanding menggunakan teknik echo cancellation .

4. Hasil perhitungan jangkauan downstream modem HDSL memperlihatkan bahwa perangkat dapat dioperasikan mencapai jarak hingga 5,61km, sedangkan pada pengukuran standar hanya dioperasikan sampai 4 km. Hal ini menunjukkan bahwa nilai-nilai standar pengukuran ditetapkan agar perangkat dioperasikan di bawah ambang batas maksimum.

8. Saran

1. Perlu adanya kajian ulang untuk menetapkan standar nilai pengukuran redaman dan cakap silang oleh PT.Telkom dengan mempertimbangkan spesifikasi perangkat transceiver yang sebenarnya dapat dioperasikan dalam kondisi dengan kualitas jaringan yang buruk.
2. Sebelum diadakan pengukuran saluran, sebaiknya diadakan pemeriksaan kondisi saluran tersebut pada alat ukur subscriber line test untuk mengetahui lokasi terjadinya cakap silang dari jarak yang terbaca.
3. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut bila suatu saluran yang akan dilewatkan layanan broadband mengalami gangguan akibat interferensi gelombang AM.

9. Referensi

1. Chen, W.Y *DSL – Simulation Techniques and Standar Debelopment for digital Subscriber line Systems*. Indianapolis; Mamillan Technology Publishing. 1998.
2. Freeman, R.L *Telecommunication Transmission Handbook*. New York; John Wiley & Sons. 1996.
3. Leidschendam. *Aspek-aspek transmisi dari Sistem Komunikasi Digital*. Nepostel. 1985.
4. Proakis, J.G. *Communication Systems Engineering*. New Jersey Prentice Hall. 1994.

5. Sinha, U. *Transmission Lines and Networks*. New Delhi; Satya Prakashan. 1977.
6. Skalar, B. *Digital Communications – Fundamentals and Applications*. New Jersey ; Prentice Hall. 1998.
7. Sudijanto, O *Teknik Jaringan Kabel Lokal Bawah Tanah*. Bandung ; Pusat pendidikan dan Latihan Perumtel. 1985.
8. Sudijanto, O. *Teknik Jaringan Atas Tanah Kabel Udara, Saluran Penangkal, Kabel Distribusi, Saluran / Kabel Rumah dan Dasar-Dasar Pair Saver*. Bandung ; Pusat Pendidikan dan Latihan Perumtel.1985
9. Suhana, dan Shoji, S. *Buku Pegangan Tknik Telekomunikasi*. Jakarta ; Pradnya Paramita. 1977.
10. Wasito . *Kamus Ensiklopedi Elektronika*. Jakarta : Karya Utama.1987
11. Warriar, P, and Kumar, B *XDSL Architecture*. New York ; MacGraw Hill. 2000.
12. Wandel and Goltermann, *Operating Manual SLT-11 / SLT –22 Subscriber Line Tester*, Germany. 1999.
13. *ADSL Forum System Reference Model*. ADSL Forum TR-001.1997
14.,Divisi RisTi, *Panduan Pengukuran dan Karakteristik Elektris Jarlokot*, Bandung; PT. Telekomunikasi Indonesia. 1998
15., ETSI TS 102 080 V1.3.1 *Transmission and Multiplexing; Integrated Servicee Digital Network basic rate access; Digital trtansmission systems on metallic local lines*, France: ETSI. 1998.
16., Divisi RisTi PT.TelkomDari *Modem Analog Ke Modem Digital XDSL*.2000

Menyetujui,

Pembimbing II

Ajub Ajulian Z, ST
NIP.132205684