

Desain Dan Implementasi *Wireless LAN* Berdasarkan Perhitungan *Link Budget* Dan *Throughput* (Studi Kasus BBS UnilaNet – Tiga Satu Mandiri Prima)

Arkawidya Pranoto¹, Raden Arum Setia Priadi²

1. STMIK Teknokrat Bandar Lampung
2. Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung Jl.Prof.Dr. Soemantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung

Abstrak—Wireless LAN (*Local Area Network*) merupakan aplikasi teknologi informasi (TI) yang menggunakan frekuensi radio (RF) atau *infrared* (IR) sebagai media transmisi. Teknologi WLAN mempunyai jangkauan luas dan kapasitas yang besar. Implementasi WLAN harus mengikuti aturan perancangan, salah satunya adalah perhitungan *Link Budget*. *Bulletin Board Service University of Lampung* (BBS UNILANET) sedang mengembangkan jaringan nirkabel *HotSpot* di lingkungan Unila dengan menggunakan teknologi WLAN dan bekerja sama dengan tenaga ahli dari perusahaan yang bergelut di bidang TI, yakni P.T. TigaSatu Mandiri Prima dalam implementasi *Hotspot* tersebut. Desain dan implementasi WLAN dari BBS UNILANET ke P.T. TigaSatu Mandiri Prima dirancang dengan aturan standar WLAN, yaitu berdasarkan ketinggian (BBS 124 meter, PT. TSMP 107 meter) dan jalur di antaranya adalah *Line Of Sight* (LOS) dengan jarak 7.18 Km. Implementasi dibangun menggunakan perangkat radio Senao dan antena grid WLG-2450-24 di setiap lokasi dan diarahkan satu sama lain (*point to point*) sehingga didapatkan kualitas sinyal sebesar 100% dan kekuatan sinyal sebesar 70%.

Kata kunci : WLAN, *Link Budget*, *Throughput*, *Line Of Sight*

Abstract—Wireless LAN (*Local Area Network*) or WLAN is an information technology (IT) which use radio frequency or *infrared* (IR) as a transmission media. WLAN technologies have a wide coverage area and large capacity. WLAN Implementation must follow the rule of design; one of this is link budget calculation. *University of Lampung* (Unila) in this matter represented by *Bulletin Board Service University of Lampung* (BBS UNILANET) is developing a hotspot wireless network in Unila using WLAN technologies. BBS UNILANET working together with experts from PT. TigaSatu

Mandiri Prima, an IT company, to implement WLAN in Unila. From this cooperation, it became necessary to implement a wireless network connecting BBS UNILANET to PT. TigaSatu Mandiri Prima. The purpose of this experiment is to design and implement WLAN from BBS UNILANET to PT. TigaSatu Mandiri Prima and to get calculation result of link budget and throughput. The result of the experiment show WLAN design from BBS UNILANET to PT. TigaSatu Mandiri Prima designed with a qualified standard rule of WLAN, based on height (BBS 124 meter, PT. TSMP 107 meter) and between the two point is Line Of Sight (LOS) ranged at 7.18 Km. Implementation builded with a set of Senao and WLG-2450-24 Grid Antenna in each location and pointed at each other (point to point) resulted in signal quality of 100% and signal strength of 70%.

Keywords : WLAN, *Link Budget*, *Throughput*, *Line Of Sight*

A. Pendahuluan

LAN dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan pertukaran informasi /data. Kebutuhan terhadap LAN semakin meningkat. Peningkatan tersebut di antaranya adalah bagaimana menghubungkan para pengguna jaringan secara efektif. Oleh karena itu dibutuhkan teknologi yang memungkinkan para pengguna jaringan dapat terhubung ke jaringan tanpa menggunakan kabel [Arifin Z., 2007]. Teknologi yang mampu menghubungkan sejumlah *device* tanpa menggunakan kabel sebagai media transmisi disebut sebagai teknologi *wireless* atau nirkabel. Teknologi ini menggunakan medium udara untuk mentransmisikan sinyal data. Karena tidak menggunakan kabel, teknologi ini dianggap sebagai sebuah solusi untuk

Naskah ini diterima pada tanggal 23 Februari 2008, direvisi pada tanggal 25 Maret 2008 dan disetujui untuk diterbitkan pada tanggal 20 April 2008

membentuk sebuah jaringan yang bersifat *mobile* dan fleksibel [Purbo O.W., 2006].

B. Teori Dasar

Jaringan Kabel Dan Nirkabel

Jaringan *ethernet* dan nirkabel dapat dibandingkan menurut kategori:

1. Lapisan fisik, sesuai dengan ketentuan model referensi OSI (*Open System Interconnection*).
2. Topologi jaringan.
3. *Flow control* pada lapisan MAC (*Medium Access Control*), yaitu pengendali transmisi data agar tidak terjadi *collisions* atau tabrakan pada saat pengiriman paket di antara pengguna jaringan.

Tabel 1. Perbandingan Jaringan Kabel dan Nirkabel

Material	Jaringan Kabel	Nirkabel
Lapisan fisik (PHY)	Media Kabel	Media udara
Topologi	Bus, Star	Basic Service Set (BSS) Extended Service Set (ESS)
Flow Control	Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection (CSMA/CD)	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA)

Wireless Local Area Network

Sistem WLAN komersial pertama (produk Altair) dari Motorola mempunyai beberapa masalah yang menghambat penggunaannya yaitu mahalnnya harga, laju data yang lambat, mudah terjadi interferensi radio dan dirancang sebagian besar untuk teknologi *Radio Frequency*.

Pada tahun 1990, *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) memulai proyek 802.11 dengan membuat spesifikasi *Medium Access Control* (MAC) dan *Physical Layer* (PHY) untuk sambungan *wireless* pada stasiun tetap, portabel dan bergerak dalam suatu daerah. Pada tahun 1997 IEEE pertama kali menyetujui standar 802.11. Pada tahun 1999 IEEE

mensertifikasi standar komunikasi jaringan *wireless* 802.11a dan 802.11b. Tujuannya adalah untuk menciptakan standar teknologi yang dapat bekerja pada berbagai tipe *encoding* fisik, frekuensi dan aplikasi.

Teknologi WLAN memiliki fleksibilitas, mendukung mobilitas, menawarkan efisiensi dalam waktu (penginstalasian) dan biaya (pemeliharaan dan penginstalasian ulang di tempat lain), mengurangi pemakaian kabel dan penambahan jumlah pengguna dapat dilakukan dengan mudah dan cepat. Teknologi *wireless* menggunakan transmisi frekuensi radio sebagai alat untuk mengirim data. Teknologi ini berkisar dari sistem kompleks seperti WLAN dan telepon seluler hingga peralatan sederhana seperti *headphone wireless*, *microphone wireless*, infra merah seperti *remote control* dan peralatan-peralatan lain yang tidak memroses atau menyimpan informasi. Semuanya membutuhkan garis pandang langsung antara *transmitter* dan *receiver* untuk membuat hubungan.

Jaringan *wireless* berfungsi sebagai pembawa informasi antar peralatan atau antara peralatan dengan jaringan kabel. Teknologi *wireless* menggunakan panjang gelombang berkisar dari frekuensi radio hingga infra merah. *Radio Frekuensi* (RF) mencakup bagian penting dari spektrum radiasi gelombang *electromagnet* (EM), yang berkisar dari 9 kilohertz (KHz), frekuensi terendah yang dialokasikan untuk komunikasi *wireless*, hingga ribuan gigahertz (GHz) dengan panjang gelombang dari 100^{-6} meter sampai 10^6 meter dan panjang gelombang infra merah adalah 10^{-6} meter [Kraus J.D., 1996].

Keuntungan menggunakan jaringan nirkabel diuraikan sebagai berikut:

Mobilitas

Device nirkabel pada *notebook* atau *personal digital assistance (PDA)*, mengakibatkan pengguna dapat bergerak secara bebas dan melakukan koneksi pada area mana pun yang masih dalam jangkauan jaringan.

Fleksibilitas

Device-nya dapat diletakkan di mana pun, yang masih dalam cakupan jaringan nirkabel, karena mempunyai sifat fleksibel. Pengguna dengan mudah terkoneksi ke dalam jaringan tanpa harus mencari kabel *ethernet* yang tersedia.

Skalabilitas

Skalabilitas adalah kemampuan untuk pengembangan jaringan setelah instalasi awal. Sifat skalabilitas sebuah jaringan menjadi sangat penting mengingat kemungkinan adanya ekspansi penggunaan jaringan. Untuk jaringan nirkabel, tidak dibutuhkan penambahan infrastruktur jaringan ketika hendak melakukan ekspansi. Berbeda dengan jaringan kabel, di mana ketika hendak melakukan ekspansi diperlukan penambahan infrastruktur, yaitu penambahan kabel serta *device* lain yang diperlukan. Dengan demikian, jaringan nirkabel memiliki tingkat skalabilitas yang lebih tinggi daripada jaringan kabel.

Pemasangan Cepat

Waktu yang dibutuhkan untuk pemasangan jaringan nirkabel lebih singkat karena koneksi jaringan dapat dibuat tanpa memindahkan atau menambah kabel atau membuat perubahan pada rencana infrastruktur kabel.

Standar IEEE 802.11

Standar jaringan nirkabel dari IEEE berada pada grup 802.11. Standar ini disetujui pada tahun 1997. Standar ini merupakan standar berbasis *radio frequency (RF)* yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz. Kecepatan maksimum yang diberikan adalah 2 Mbps. Revisi dari standar 802.11 disebut dengan 802.11 *High Rate*. Revisi standar ini mendefinisikan aturan lapisan fisik, sehingga dapat mempercepat transmisi data. Standar 802.11 *High Rate* memiliki kecepatan maksimum 11 Mbps. Pada tahun 1999, standar 802.11 *High Rate* disetujui dan diganti namanya menjadi standar 802.11b. Standar 802.11b lebih dikenal dengan istilah *Wireless-Fidelity (Wi-Fi)*.

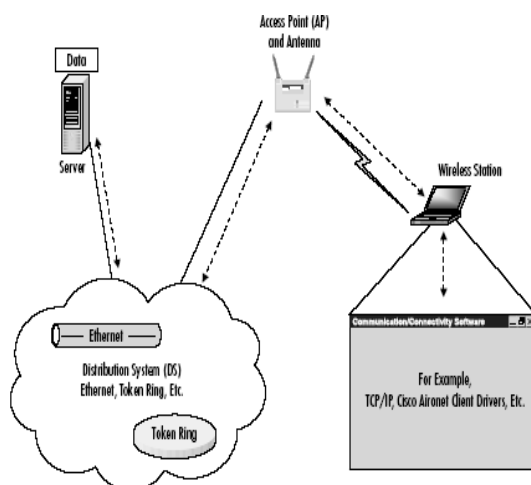
Sementara itu, standar 802.11a juga disetujui pada tahun yang sama. Standar 802.11a tersebut memiliki kecepatan yang lebih tinggi dan bekerja pada frekuensi yang berbeda dengan standar 802.11b, yaitu pada frekuensi 5 GHz. Selain itu, standar 802.11a juga bekerja dengan metode modulasi yang berbeda dengan standar 802.11b.

Tabel 2. Perbandingan 802.11a, 802.11b, dan 802.11g.

802.11a	802.11b	802.11g
Beroperasi pada <i>range</i> 5 GHz.	Beroperasi pada <i>range</i> 2.4 GHz.	Beroperasi pada <i>range</i> 2.4 GHz
Kecepatan data hingga 54 Mbps	Kecepatan data hingga 11 Mbps	Kecepatan data hingga 54 Mbps
Menggunakan OFDM	Menggunakan DSSS dan CCK.	Menggunakan OFDM dan CCK.
	disertifikasi oleh IEEE pada tahun 1999	Disetujui pada 11 Juni 2003
	ditetapkan sebagai standar servis <i>Wi-Fi</i>	

Komponen Fisik Jaringan Nirkabel 802.11

Jaringan nirkabel dengan standar 802.11 memiliki empat komponen fisik utama. Gambar 1 berikut mengilustrasikan komponen-komponen pada jaringan nirkabel tersebut.



Gambar 1. Komponen Fisik Jaringan Nirkabel

Komponen - komponen tersebut adalah:

Sistem Distribusi

Sistem ini merupakan komponen *logical* dari jaringan 802.11 yang digunakan untuk meneruskan paket-paket yang ditransmisikan ke tujuan. Pada beberapa produk komersial, sistem ini diimplementasikan sebagai kombinasi antara *bridging engine* dan sebuah medium sistem distribusi, yang menjadi jaringan *backbone* untuk me-relay paket-paket di antara *access points*. Pada sejumlah produk, jaringan *ethernet* digunakan sebagai jaringan *backbone*.

Access points (AP)

Paket yang dikirimkan pada jaringan nirkabel harus dikonversi menjadi tipe paket lain untuk didistribusikan ke bagian jaringan yang lain. Alat yang berfungsi demikian disebut *access point* (AP).

Medium nirkabel

Agar paket dapat ditransmisikan dari sebuah *station* ke *station* yang lain, standar 802.11 ini menggunakan sebuah medium nirkabel. Penghantar pada medium ini adalah frekuensi radio dan *infrared*.

Station

Station adalah alat komputasi yang memiliki *wireless Network Interface Card* (wNIC). Beberapa contoh *station* adalah *notebook* dan *Personal Digital Assistant* (PDA). *Station* inilah yang hendak melakukan komunikasi pada jaringan dengan melakukan transmisi paket.

Antena WLAN

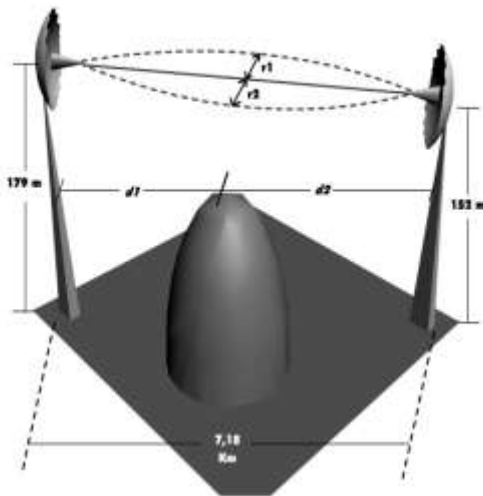
Beberapa tipe antena yang digunakan dalam WLAN, yaitu:

1. **Antena Omnidirectional**, umumnya digunakan pada *Access Point* (AP). Antena jenis ini memiliki polarisasi 360° derajat.
2. **Antena Sectoral**, antena ini memiliki *gain* yang lebih tinggi dari pada Antena *Omnidirectional*, namun memiliki keterbatasan jangkauan pada 90° - 180° derajat.
3. **Antena Directional**, antena ini memiliki *gain* yang sangat tinggi dan umumnya diarahkan pada *Access Point*.

C. Metode Penelitian

Pada tahap ini dilakukan perancangan jaringan WLAN berdasarkan perhitungan Link Budget dan Throughput. Pengumpulan data jaringan WLAN, meliputi topologi fisik dan standar arsitektur WLAN dilakukan di BBS UNILANET dan di kantor PT. TigaSatu Mandiri Prima.

Perancangan Jaringan WLAN BBS UnilaNet - PT TigaSatu Mandiri Prima, ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Desain WLAN BBS UnilaNet dengan PT TigaSatu Mandiri Prima

Tabel 3. Parameter desain WLAN BBS UNILANET - PT TigaSatu Mandiri Prima

Link Budget	TxP	50 dBm
	TxG	24 dBi
	TxL	2.7 dBi
	FSL	117.05 dB
	ML	0
	RxG	24 dBi
	RxL	154.4 dB
Site Unila	Koordinat	5°21'51.3"S 105°14'36.50"E
	Ketinggian dari permukaan laut	124 m
	Tinggi gedung	50 m
	Tinggi tower	5 m
Site TSMP	Koordinat	5°25'31.5"S 105°15'56.40"E
	Ketinggian dari permukaan laut	107 m
	Tinggi gedung	0 m
	Tinggi tower	45 m
Antena	Sudut kemiringan	0,215°
Link	Koneksi	Point To Point

Peta Dan Site Lokasi



Gambar 3. Peta Lokasi dari *google earth*

Lokasi yang digunakan untuk pemetaan dengan menggunakan GPS adalah Universitas Lampung dan PT. TigaSatu Mandiri Prima.

Tabel 4. Site Unila dan PT. TSMP

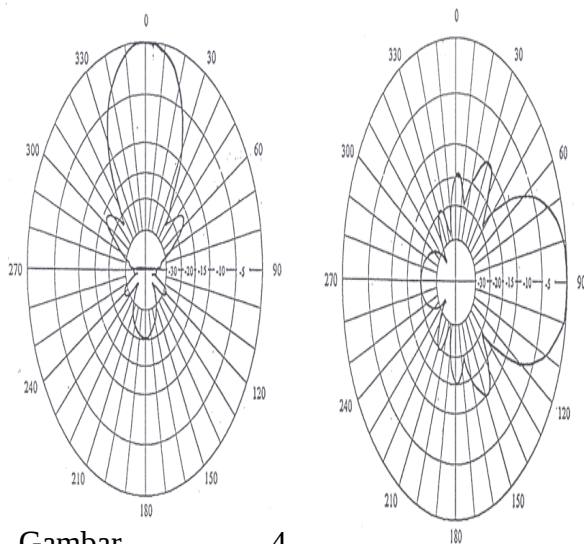
Parameter	Lokasi	
	Unila	PT TSMP
Koordinat	5°21'51.3"S	5°25'31.5"S
	105°14'36.50"E	105°15'56.40"E
Ketinggian dari permukaan laut	124 Meter	107 Meter
Tinggi gedung	50 meter	0 Meter
Tinggi tower	5 meter	45 Meter
Jarak	7.18 Km	

Koneksi BBS Unilanet – TigaSatu Mandiri Prima digunakan antenna dengan kode WLG-2450-24 dan tipe antenna pengarah yagi.

Antena yagi pada dasarnya sebuah *dipole* (sering disebut *radiator*). Pada bagian belakang terdapat *reflector* untuk merefleksikan sinyal. Pada bagian mukanya diletakkan beberapa elemen *director* untuk mengarahkan sinyal. Makin banyak *director*-nya semakin tinggi

penguatan antenna. Antena yagi biasanya mempunyai penguatan sekitar 7-18 dBi.

Antena yagi 12 dBi tipe P-2412 untuk 2.4 GHz yang tertutup oleh *random* terlihat pada gambar. Pola radiasi antena tampak pada gambar 2. Hal yang menarik untuk diperhatikan adalah pola radiasi horizontal dan pola radiasi vertikal tidak berbeda jauh pada antena pengarah, semua mengarahkan ke muka antena, tidak banyak radiasi di belakang antena.

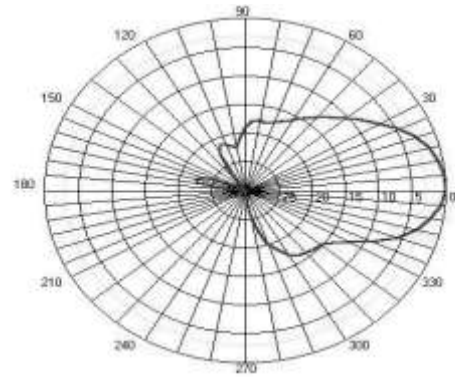


Gambar 4.
Horizontal pattern dan Vertical pattern

Tabel 5. Spesifikasi Antena Directional

Parameter	Minimum	Type	Maximum	Units
Frequency Range	2400		2483	MHz
Input Return Loss (S_{11})		- 14		dB
VSWR		1:5:1		
Impedance		50		
Input Power		50		W
Operating Temperature	- 45		+ 70	Deg C
Gain		14		dB
Weight		3 12		Lbz Kg
Dimension		10.24" 260		Inch Mm
3 dB Beam Angle		26		Deg
Front to Back		>30		dB

Gambar 5. Polarisasi Antena Directional



Semua antena pada jaringan radio yang dibangun harus mempunyai **polarisasi yang sama**, tidak peduli tipe antena yang digunakan. Dengan menggunakan polarisasi antena yang benar, akan mudah untuk : 1) Meningkatkan isolasi terhadap sinyal yang tidak diinginkan. Diskriminasi terhadap polarisasi silang (*cross polarisation*) (x-pol) sekitar 20-25 dB; 2) Meredam interferensi; 3) Mendefinisikan daerah layanan.

Antena tipe WLG-2450-24 mempunyai keterangan sebagai berikut:

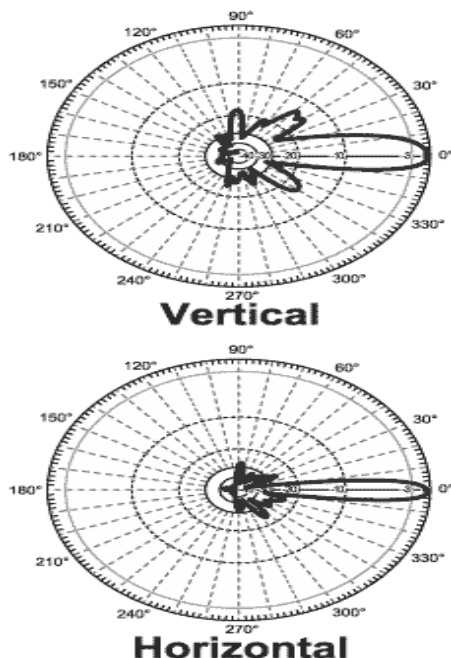
- 2.4 GHz ISM Band
- IEEE 802.11b, 802.11g Wireless LAN
- IEEE 802.11n (Pre-N, Draft-N, MIMO) Applications
- WiFi Systems
- Long-range Directional Applications
- Point to Point Systems
- Point to Multi-point Systems
- Wireless Bridges
- Backhaul Applications
- Wireless Video Systems

Antena grid WLG-2450-24 ini mempunyai gain 24 dBi dengan 8° beam-width yang sangat efektif untuk digunakan pada koneksi *point – to – point* jarak jauh dengan menggunakan frekuensi 2.4GHz dan memenuhi standar IEEE 802.11b, 802.11g and 802.11n. Antena ini dapat digunakan untuk polarisasi vertical atau horizontal.

Selain itu, seluruh permukaan antenna ini didesain agar mudah dirakit dan mampu menahan cuaca panas, anti air dan anti karat. Material antenna ini menggunakan bahan pelapis khusus yang terbuat dari alumunium sehingga mempunyai daya tahan yang cukup lama. Kerangka antenna didesain khusus untuk mengurangi beban angin. Antena ini memiliki lengkung sebesar 60° dan mempunyai engsel agar dapat memudahkan dalam melakukan *pointing*.



Gambar 6. Antena grid WLG-2450-24



Gambar 7. Pola Penguatan RF

Radio yang digunakan adalah Senao SL-2611CB3+ Deluxe dengan keterangan sebagai berikut:

- Up to 23dBm (200mW) RF Output Power
- 11Mbps IEEE 802.11b Compliant
- Point-to-point, Point-to-multipoint Wireless Connectivity
- Plug and Play
- Power-over-Ethernet (POE)
- 64 /128-bit WEP data encryption Powerful data security
- Hide SSID (AP Mode)
- DHCP Client
- Web-based configuration
- MAC address filtering (AP Mode)
- Seamless Roaming

Radio ini digunakan sebagai *bridge* yang menggunakan teknologi WLAN untuk berinterkoneksi antar host *transmitter* dan *reciever*. Radio ini mempunyai kelebihan yaitu memiliki power 200 mW. Di mana dengan power tersebut akan didapatkan kualitas sinyal sebesar 100 % dan kekuatan sinyal minimal sebesar 70 %.



Gambar 8. Radio Senao SL-2611CB3+ Deluxe

D. Hasil dan Pembahasan Perhitungan Link Budget

1. Fresnel Zone

$$F_n = \sqrt{\frac{n \lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{D}{4f}}$$

Tabel 6. Data *Fresnell Zone*

	FZ
d1 = 3.000 m d2 = 4.000 m	FZ1 = 14.638,5 m
d1 = 3.500 m d2 = 3.500 m	FZ2 = 14.735,77 m
d1 = 3.200 m d2 = 3.800 m	FZ3 = 14.790,2 m

2. *Free Space Loss*

$$FSL(dB) = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi}{c}\right) + 60,$$

$$\approx 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.45;$$

3. *Path loss*

$$L = 10 n \log_{10}(d) + C$$

4. *Link Budget*

$$RxP = TxP + TxG - TxL - FSL - ML + RxG - RxL$$

Tabel 7. Data Hasil Perhitungan Link Budget

FZ	FSL	PL	LB
14.790,2 m	117.05 dB	154.4 dB	57.95 dB

Perhitungan Periode Throughput

1. Bandwidth Berdasarkan pengamatan :

Kecepatan Terendah = 55,75 kbps
 = 446 kbps
 = 456704 bits

Kecepatan Tertinggi = 127,22 kbps
 = 1016,16 kbps
 = 1040548 bits

Ukuran File / Besar Data = 9,8 MB
 = 82208358,4 bit

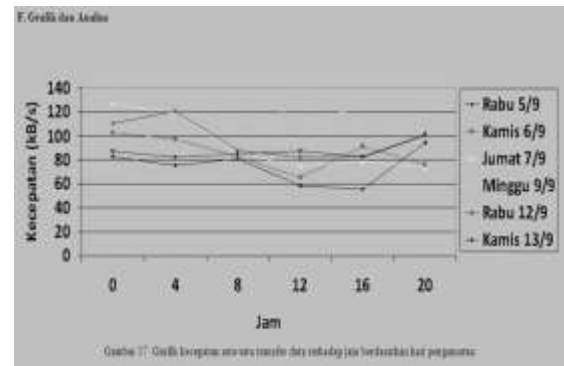
2. *Throughput* berdasarkan pengamatan :

Pada Bandwidth tertinggi,

waktu *Throughput* = 78.88 s

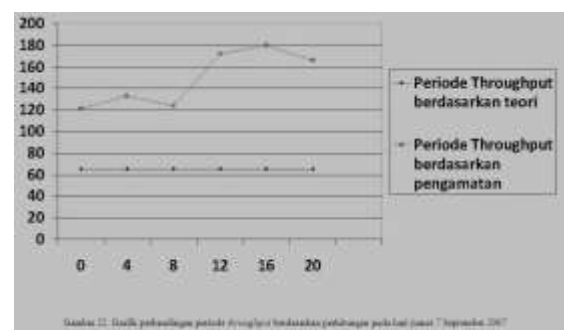
Pada Bandwidth terendah,

Waktu *throughput* = 180,003 s



Gambar 9. kecepatan rata-rata transfer data terhadap jam

Berdasarkan data grafik kecepatan rata-rata transfer data terhadap jam dengan ukuran file yang sama, didapatkan kecepatan tertinggi dengan besar kecepatan adalah 127.02 KB/s atau setara dengan 1.040.547,84 bits. Ini terjadi karena pada hari pengamatan kondisi trafik rendah sehingga sama sekali tidak ada pengaruh dari *link* lain yang berada pada jalur yang sama atau berdekatan. Sedangkan kecepatan terendah adalah sebesar 55.75 KB/s atau setara dengan 456.704 bits. Ini terjadi karena *trafik wireless* saat pengamatan sedang tinggi dimana terdapat *link - link* lain yang saling bersinggungan



Gambar 10. Perbandingan periode throughput

E. Kesimpulan

1. Desain WLAN dari BBS Unilinet ke PT TSMP sesuai standar WLAN, antara lain berdasarkan ketinggian dimana BBS 124 meter dan PT TSMP 107 meter serta posisi jalur dalam LOS.
2. Desain WLAN dari BBS Unilinet ke PT TSMP dengan jarak 7.18 Km dibangun menggunakan perangkat radio Senao dan antena grid WLG-2450-24 di setiap lokasi dan diarahkan satu sama lain (*point to point*) sehingga didapatkan kualitas sinyal sebesar 100% dan kekuatan sinyal sebesar 70%.
3. WLAN BBS Unilinet dan PT TSMP dapat dibangun karena faktor - faktor pendukung terpenuhi (ketinggian, LOS, alat dan *pointing*) dan hasil pengujian menunjukkan hasil yang cukup memuaskan.
4. Nilai *throughput* terbesar yaitu 127,02 KBps dengan waktu yang tercatat adalah sebesar 79 detik, nilai *throughput* terkecil yaitu 55,75 KBps dengan waktu yang tercatat adalah sebesar 180 detik

Daftar Pustaka

- [1]. Arifin, Z. "*Mengenal Wireless LAN (WLAN)*", Andi, Yogyakarta, 2007
- [2]. Balanis, C.A. "*Antenna Theory*", Harper & Row Publisher, New York, 1982.
- [3]. Freeman, R.L. "*Radio System Design for Telecommunications (1 – 100 GHz)*", John Willey & Sons, New York, 1992
- [4]. IEEE 802.11, <http://standards.ieee.org/getieee802/802.11.html> diakses April 2007
- [5]. Kraus, J.D. "*Electromagnetics*", Ohio State University, McGraw-Hill, 1992
- [6]. Link Budget, [http://en.wikipedia.org/Link Budget](http://en.wikipedia.org/Link_Budget) diakses April 2007
- [7]. Purbo, O.W. "*Internet Wireless dan Hotspot*", P.T. Elex media Komputindo, Gramedia, Jakarta, 2006
- [8]. Pahlavan, Kaveh dan Levesque, A.H., "*Wireless Data Communications*", Proceeding of the IEEE, Vol. 82, No. 9, pp. 1938-1430, September 1994.
- [9]. Theodore. S. Rapaport, "*Wireless Communications Principles and Practice*", Prentice Hall, New Jersey, USA, 1996
- [10]. Todd Lamle, "*CCNA: Cisco Certified Network associate*", CISCO, 2001
- [11]. Wireless LAN, [http://elektroindonesia.com/Wireless LAN](http://elektroindonesia.com/Wireless_LAN) diakses Maret 2007