

ANALISIS FAKTOR – FAKTOR DALAM PERENCANAAN *WIRELESS LAN* STANDAR IEEE 802.11

Novan Setiawan

*Jurusan Teknik Informatika
Universitas Trunojoyo*

Email : novans@trunojoyo.ac.id

ABSTRAK

Wireless LAN merupakan wujud kemajuan di bidang teknologi jaringan komputer. Wireless LAN menggunakan gelombang radio sebagai media transmisinya serta mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan jaringan kabel. Keunggulan tersebut antara lain adalah mampu diterapkan pada tempat dimana implementasi kabel tidak dapat diterapkan karena faktor alam serta mampu memberikan kepada pemakai untuk melakukan mobilitas. Salah satu standar wireless LAN yang ada saat ini adalah IEEE 802.11, standar yang mempunyai popularitas dipasaran. Tujuan dari studi ini adalah untuk menganalisis faktor – faktor yang terdapat dalam perencanaan wireless LAN dengan menggunakan standar IEEE 802.11.

Hasil analisis menunjukkan bahwa diperlukan adanya satu buah access point dalam masing – masing lantai untuk model yang dipakai. Untuk kasus 1 dan kasus 2 dari model, pada jarak 18 m, tingkat daya penerimaan masih diatas tingkat daya penerimaan minimum. Sedangkan untuk kasus 3 dari model, pada jarak lebih besar 14 tingkat daya penerimaan lebih kecil daripada tingkat daya penerimaan minimum.

Kata Kunci : wireless LAN, standar IEEE 802.11, perencanaan

1. PENDAHULUAN

Jaringan komputer saat ini telah menjadi kebutuhan di berbagai jenis industri atau sebuah lembaga. Kinerja jaringan komputer yang baik sudah tentu akan banyak memberikan manfaat bagi proses – proses yang ada dalam suatu organisasi. Untuk menghasilkan kinerja yang baik dari jaringan komputer diperlukan perencanaan yang baik pula.

Pemakaian jaringan komputer dengan menggunakan media transmisi gelombang radio yang sangat maju saat ini merupakan salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan pembangunan jaringan komputer pada suatu lingkungan yang perubahan tata ruangnya dinamis. Dengan pemakaian media transmisi radio ini, pemakaian kabel ditinggalkan sehingga apabila gedung berubah maka tidak perlu mengadakan pembongkaran tempat – tempat kabel, serta dukungan kepada pemakai untuk bergerak dari satu tempat ke tempat lain (mobilitas pemakai).

Saat ini ada beberapa standar wireless LAN di pasaran salah satunya adalah standar IEEE 802.11. Standar ini telah menghasilkan jumlah yang mencukupi untuk solusi wireless yang terus berkembang popularitasnya.

Tulisan ini akan menganalisis factor-faktor dalam perencanaan wireless LAN standar IEEE 802.11 sehingga diperoleh kinerja jaringan komputer tanpa kabel yang memuaskan.

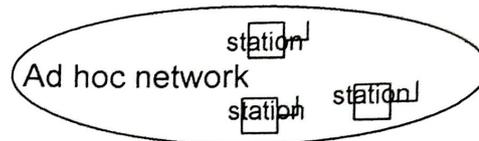
Berdasar uraian permasalahan yang ada, maka makalah ini menekankan pada bagaimana merencanakan jaringan komputer tanpa kabel dengan menggunakan standar IEEE 802.11 dan berapa besar nilai prediksi tingkat daya penerimaan dari perencanaan tersebut.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Topologi wireless LAN 802.11

2.1.1. Independent Basic Service Set (IBSS)

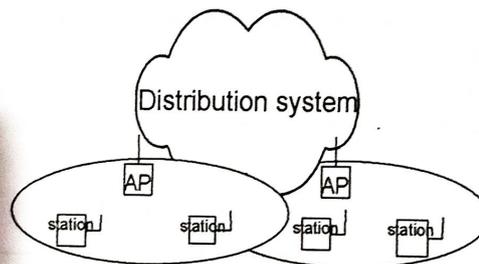
Topologi Independent Basic Service Set disebut juga sebagai ad hoc network. Sebuah IBSS merupakan BSS yang berdiri sendiri dimana tidak terdapat infrastruktur backbone dan hanya terdiri dari minimal dua wireless station. Gambar berikut menunjukkan topologi ad hoc.



Gambar 1. Topologi ad hoc

2.1.2. Infrastructure-based Wireless LANs

Untuk memenuhi kebutuhan jangkauan yang lebih jauh, maka dibuatlah topologi Infrastructure based wireless LAN yang terdiri dari banyak sel dan sebuah system distribusi (*distribution system*). *Distribution system* menghubungkan sel-sel melalui *access point* untuk membentuk sebuah jaringan. Gambar berikut menunjukkan topologi *infrastructure based wireless LAN*



Gambar 2. Topologi infrastructure-based

2.2. Sistem Komunikasi Radio Seluler

Dalam sistem komunikasi radio seluler besarnya perhitungan rugi-rugi lintasan, jumlah *base station* dan tingkat daya penerimaan merupakan faktor yang harus diperhitungkan sehingga diharapkan didapat suatu sistem komunikasi radio yang baik.

2.2.1. Lintasan Pada Propagasi Dalam Ruang (Indoor)

Untuk di dalam ruangan (*indoor*) yang biasanya berada di dalam gedung perkantoran, kampus, maupun pabrik, model propagasinya mempunyai jangkauan yang pendek dengan ruangan yang tertutup oleh lantai dan dinding yang dapat terjadi sepanjang koridor-koridor atau daerah terbuka, sehingga propagasi sinyal di dalam ruangan akan menjadi sangat kompleks. Adapun karakteristik propagasi sinyal di dalam ruangan, dapat dibedakan menjadi tiga lingkungan sebagai berikut :

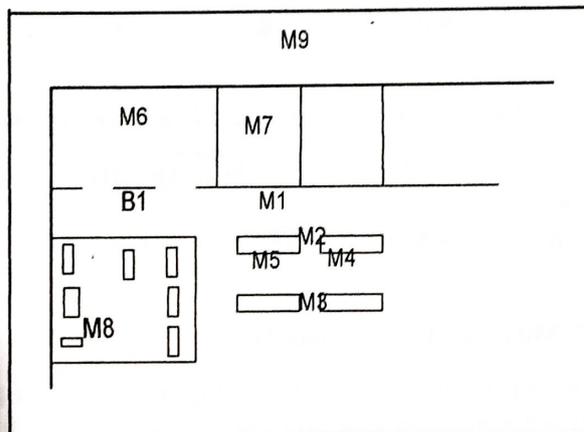
- *Line of Sight* (LOS) yaitu areal terbuka dengan atau tanpa obyek yang menghalangi sinyal.
- *Obstructed LOS* (OLOS) yaitu penghalang atau obyek tipis pada jalur propagasi.

- *Non LOS (NLOS)* yaitu penghalang atau obyek tebal diantara pemancar dan penerima.

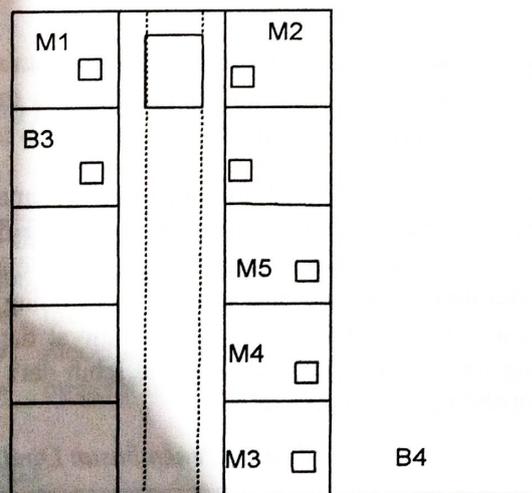
Masing-masing kondisi di atas, akan memiliki kerugian propagasi yang berbeda sehingga akan mempengaruhi tingkat daya penerimaan. Oleh karena itu, pada propagasi *indoor*, perlu diperhatikan parameter-parameter berikut ini : (Lopez, 1994)

- Material konstruksi dapat berupa beton, batu bata, logam, kaca, kayu dan plastik.
- Tipe-tipe interior dapat berupa : ruangan dengan dan tanpa jendela, lorong dengan dan tanpa pintu, lorong besar dan koridor-koridor.
- Lokasi dalam gedung dapat berupa lantai dasar, lantai ke-n dan *basement* atau garasi.
- Lokasi antena pemancar (Tx) dan penerima (Rx) :
 - a. Antena Tx dan Rx pada lantai yang sama
 - b. Antena Tx dan Rx dalam gedung yang sama tapi pada lantai yang berbeda
 - c. Antena Tx di luar gedung, antena Rx di dalam gedung

Untuk memahami aplikasi sesungguhnya dari model di atas, pada gambar 3 dan gambar 3.3 ditunjukkan lingkungan propagasi *indoor* secara umum dan pada gedung bertingkat, dimana terdapat beberapa jalur antara pemancar atau *Base station (B)* dan penerima atau *Mobile Terminal (M)*.



Gambar 3. Lingkungan untuk ruangan tertutup



Gambar 4 Gedung bertingkat dengan Tx dan Rx pada lantai yang berbeda

2.2.2. Lokasi Tx Dan Rx Berada Pada Lantai Yang Sama

Kasus 1 : BI ke MI (Gambar 3)

Menunjukkan bahwa propagasi sinyal terjadi pada ruangan luas (hall). Adapun rugi-rugi lintasan yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan 1 : (Lopez, 1994)

$$P_1 = S + n_1 \log(r) \quad (1)$$

$$S = 10 n \log(4\pi / \chi) \quad (2)$$

Keterangan :

P_1 : rugi-rugi lintasan (dB)

S : 40 dB untuk frekuensi sebesar 2.45GHz

n : eksponen rugi lintasan untuk ruang bebas

n_1 : eksponen rugi lintasan

Besarnya nilai eksponen (n), tergantung pada lingkungan propagasi tertentu. Nilai-nilai (n) dengan standar deviasi (σ) untuk beberapa gedung diperlihatkan seperti pada tabel 1 dan table 2

Tabel 1 Nilai Eksponen Rugi Lintasan pada lintasan LOS

	2,45 GHz	5,25GHz	10 GHz	17 GHz	24 GHz
n	1,3	1,8	1,7	1,8	1,7
δ ,dB	6,0	5,8	5,2	5,1	4,3

Tabel 2 Nilai Eksponen Rugi Lintasan pada lintasan NLOS

	2,45 GHz	5,25GHz	10 GHz	17 GHz	24 GHz
n	2,5	2,6	2,1	2,1	2,1
δ ,dB	5,7	5,7	5,4	3,5	5,1

Kasus 2: BI ke M7, M8 dan M9 (Gambar 3)

Menunjukkan bahwa propagasi sinyal yang terjadi antara pemancar dan penerima terhalang oleh dinding-dinding pemisah, sehingga rugi-rugi lintasan dapat dihitung dengan :

$$P_2 = S + 10 n_1 \log(r_1) + \sum L_w \quad (3)$$

Dengan :

P_2 : rugi-rugi lintasan (dB)

r_1 : jarak antara pemancar dengan permukaan luar dinding (m)

L_w : rugi-rugi penembusan dinding (dB)

Parameter L_w tergantung dari tipe konstruksi dinding antara pemancar dan penerima serta sudut propagasi sinyal yang datang (seperti sudut antara normal dinding dan jalur langsung ke pemancar) sehingga apabila sudutnya lebar, maka tidak banyak energi yang menembus dinding luar. Perhitungan dari nilai maksimum, minimum dan rata-rata penembusan dinding (L_w) untuk bermacam-macam konstruksi dan tipe dinding yang menghalangi propagasi sinyal dapat dilihat pada tabel 3. adapun penembusan dinding merupakan penjumlahan total L_w .

Tabel 3. Nilai Faktor Penembusan Dinding

TIPE/KONSTRUKSI DINDING	L_w (dB)	L_w min (dB)	L_w maks (dB)
Beton tebal (25 cm) dengan jendela besar	5	4	5
Beton tebal dengan jendela dan penonjolan besar	11	9	12
Beton tebal tanpa jendela	13	10	18
Beton ganda (2 x 20) cm	17	14	20
Beton tipis (10 cm)	6	3	7

Tabel 3. Nilai Faktor Penembusan Dinding (lanjutan)

TIPE/KONSTRUKSI DINDING	L_w (dB)	L_w min (dB)	L_w maks (dB)
Dinding batu bata (25 cm) dengan jendela kecil	4	3	5
Dinding baja (1 cm) dengan jendela bertulang	10	9	11
Dinding kaca	2	1	3
Kaca bertulang	8	7	9

2.2.3. LOKASI Tx DAN Rx PADA LANTAI YANG BERBEDA DALAM SATU GEDUNG

Kasus 3 : B3 ke M1 dan M2 (Gambar 4)

Menunjukkan bahwa lantai pemancar dan penerima dalam satu gedung tapi berada pada lantai yang berlainan, sehingga persamaan rugi-rugi lintasan dapat diberikan :

$$P_3 = S 10n_3 \log (r_1) + k_3 F_3 + 10 n'_3 \log (r/r_1) \quad (4)$$

Dengan :

- r : jarak antara pemancar dan penerima tanpa halangan (m)
- r_1 : jarak dengan atap (m)
- F_3 : faktor redaman lantai (dB)
- k_3 : jumlah lantai antara pemancar dan penerima
- n_3 : eksponen rugi lintasan pada lantai pertama
- n'_3 : eksponen pada lantai kedua

Dari hasil pengukuran didapatkan bahwa rugi-rugi akibat halangan lantai tidak naik secara linear terhadap jarak. Untuk lebih jelasnya besarnya nilai eksponen rugi lintasan (n) dengan standar deviasi (σ) tiap lantai dapat dilihat seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Nilai Eksponen Untuk Penembusan Lantai

Tipe Bangunan	n	σ
Semua gedung :		
• semua lokasi	3,14	16,3
• lantai yang sama	2,76	12,9
• menembus satu lantai	4,19	5,1
• menembus dua lantai	5,04	6,5

Parameter yang berpengaruh lainnya untuk mempredisikan sinyal di dalam ruangan antar lantai yaitu faktor redaman lantai (F) dalam dB. Pada tabel 5 ditunjukkan faktor redaman lantai beserta standar deviasi (σ) untuk tiap-tiap lantai dengan tipe-tipe bangunan gedung.

Tabel 5. Faktor Redaman Lantai

Tipe Bangunan	F (dB)	σ
Gedung Perkantoran :		
• menembus 1 lantai	16,2	2,9
• menembus 2 lantai	27,0	5,4
• menembus 3 lantai	31,6	7,2

2.3. Perhitungan Jari-Jari Sel

Untuk menentukan daerah cakupan atau radius dari daya pemancar AP di ruangan dapat dihitung dengan mengetahui daya pancar, daya penerimaan minimum dan rugi-rugi lintasan maksimum yang diijinkan. Sedangkan besarnya rugi lintasan maksimum dapat dihitung dari persamaan (5) (Winch, 1993)

$$\text{Path Loss} = P_t - P_{r \min} \quad (5)$$

Dengan :

- Path Loss : rugi lintasan maksimum (dB)
- P_t : daya pancar (dB)
- $P_{r \min}$: daya penerimaan minimum (dB)

Dengan mempertimbangkan rugi-rugi lintasan yang disebabkan oleh dinding dan lantai maka besarnya rugi lintasan maksimum didapat dari persamaan (6) (Yahya, 1999)

$$\text{Path Loss} = S + 10 \log(r) + k f + p L_w \quad (6)$$

Sehingga untuk menentukan jari-jari sel didapat dengan mensubstitusikan persamaan (6) ke persamaan (5) yang akhirnya diperoleh persamaan (7)

$$P_t - P_{r \min} = S + 10 \log(r) + k f + p L_w \quad (7)$$

Sehingga besarnya jari-jari sel dapat diperoleh dari persamaan (8)

$$r = 10^{\left[\frac{P_t - P_{r \min} - S - k f - p L_w}{10 n} \right]} \quad (8)$$

dengan

- $P_{r \min}$: daya penerimaan minimum (dB)
- P_t : daya pemancar (dB)
- r : jari - jari sel (m)
- n : eksponen rugi -rugi lintasan
- k : jumlah lantai antara pemancar dan penerima
- f : redaman tiap lantai (dB)
- p : Jumlah dinding antara pemancar dan penerima
- L_w : redaman tiap dinding antara pemancar dan penerima (dB)

2.4 Perhitungan Jumlah Access Point

Untuk menentukan jumlah AP dapat dilakukan dengan memperhitungkan luas gedung dan luas daerah cakupan access point seperti pada persamaan (9) (Macaino, 1997)

$$AP = \frac{A_g}{A_{AP}} \quad (9)$$

dengan

- A_g : Luas gedung (m²)
- A_{AP} : Luas cakupan sel (m²)
- AP : Jumlah Access Point

Misalkan panjang gedung p (m) dan lebar gedung l (m) dan jari-jari sel r (m), maka didapat persamaan (10)

$$A_g = p \times l \quad (10)$$

Dengan

- A_g : luas gedung (m²)
- p : panjang gedung (m)
- l : lebar gedung (m)

Sesungguhnya bentuk nyata dari sebuah sel mempunyai bentuk yang tidak teratur, maka pendekatan yang sesuai untuk bentuk sebuah sel adalah lingkaran. Luas cakupan sebuah sel berbentuk lingkaran dapat diperoleh dari persamaan (11) (Alcatel)

$$AP = \pi r^2 \quad (11)$$

Dengan

A_{AP} : daerah cakupan sel acces point (m^2)
 r : jari-jari AP(m)

Sehingga dengan mensubstitusikan persamaan (10) dan (11) ke persamaan (9) didapat jumlah CS, seperti pada persamaan (12)

$$AP = \frac{pxl}{\pi \cdot r^2} \quad (12)$$

Prediksi Tingkat Daya Penerimaan

Nilai suatu kuat sinyal penerimaan dari sebuah sel menentukan baik tidaknya suatu hubungan komunikasi dari pemancar dan penerima. Besarnya kuat sinyal penerimaan dapat ditentukan dengan persamaan (13) (Eva,1998) :

$$Pr = Pt + Gt + Gr - P \quad (13)$$

Dengan

Pr : kuat sinyal penerimaan(dBm)
 Pt : kuat sinyal di sisi pemancar (dBm)
 Gt : penguatan antena disisi pemancar (dB)
 Gr : penguatan antena disisi penerima (dB)
 P : rugi - rugi lintasan (dB)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Jumlah Access Point

Untuk menentukan jumlah access point yang diperlukan , perlu didapatkan dulu data tentang jari - jari cakupan access point. Dalam tulisan ini diasumsikan Access Point mempunyai spesifikasi : daya pancar : 13 dBm, sensitivitas penerimaan : - 79 dBm dan beroperasi pada frekuensi 2.45 GHz.

Untuk menentukan jangkauan dari access point , pertama kali yang perlu dihitung adalah rugi - rugi lintasan maksimum yang diperkenankan antara pemancar dan penerima dengan menggunakan persamaan

$$\text{Path Loss} = P_t - P_{r \min}$$

Dengan mengikuti standar yang ada, sensitivitas penerimaan yang diberikan sebesar -79 dBm dan daya pancar 13 dBm maka didapatkan :

$$\begin{aligned} \text{Path Loss} &= 13 - (-79) \\ &= 92 \text{ dB} \end{aligned}$$

selanjutnya untuk mendapatkan radius access point digunakan persamaan :

$$\text{Path Loss} = S + 10 \log(r) + k f + p L_w$$

Untuk mendapatkan nilai S digunakan persamaan

$$S = 10 n \log(4\pi / \chi)$$

Untuk ruang bebas besarnya nilai $n = 2$ (Lopez,1994) dan untuk frekuensi 2,45 GHZ, besarnya $\lambda = 0,122$ sehingga

$$\begin{aligned} S &= 10 \times 2 \log(4\pi / 0,122) \\ &= 40,2 \text{ dB} \\ &\approx 40 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dalam analisis ini diasumsikan bahwa jumlah lantai yang ditembus adalah satu lantai dan berdasar table didapat nilai kf sebesar 16,2 , jumlah dinding penghalang adalah satu dinding penghalang dan

berjenis batu bata yang mempunyai nilai $L_w = 4$ dan berdasarkan table nilai eksponen rugi lintasan NLOS pada frekuensi 2,45 GHz adalah $n = 2,5$, sehingga dengan menggunakan persamaan didapatkan radius access point sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Path Loss} &= 40 + 10 \times 2,5 \log(r) + 16,2 + 4 \\ 92 &= 40 + 25 \log(r) + 20,2 \\ 92 &= 60,2 + 25 \log(r) \\ \log r &= 1,272 \\ r &= 18,7 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk menentukan jumlah access point dapat dihitung dari luas ruangan dalam gedung dibagi dengan luas cakupan access point. Jika panjang gedung adalah 32 m dan lebar gedung adalah $l = 24$ m maka pada satu tingkatan lantai terdapat access point sebanyak :

$$AP = \frac{p \times l}{\pi \cdot r^2}$$

$$AP = \frac{32 \times 24}{\pi \times 18,7^2}$$

$$\begin{aligned} AP &= 0,699 \\ &\approx 1 \text{ buah} \end{aligned}$$

3.2 Analisis Penempatan Access Point

Dalam menempatkan access point perlu memperhatikan factor – factor sebagai berikut :

1. Mempertimbangkan keadaan ruangan , jenis material dinding dan lantai gedung.

Faktor ini perlu dipertimbangkan agar AP dapat mencakup semua lantai dalam gedung dengan tingkat daya penerimaan yang masih diatas tingkat daya penerimaan minimum. Dengan demikian bila terjadi perpindahan posisi AP dari satu tingkat lantai ke lantai lainnya komunikasi masih dapat terus berlangsung.

2. Tempat – tempat yang penting dan sering dilakukannya komunikasi. Faktor tersebut perlu dipertimbangkan karena kanal trafik AP akan sering diakses, yang akhirnya memerlukan lintasan transmisi dengan rugi – rugi yang rendah sehingga tersedia kualitas transmisi yang baik.

3.3. Analisis Prediksi Tingkat Daya Penerimaan

Berdasarkan persamaan – persamaan yang telah diuraikan , akan diprediksikan tingkat daya penerimaan. Komunikasi antar komputer akan berlangsung (kondisi on) apabila tingkat daya penerimaan diatas tingkat daya penerimaan minimum yaitu sebesar -79 dBm. Perhitungan daya penerimaan dilakukan pada masing masing kasus.

Berdasarkan spesifikasi peralatan, angka penguatan antena yang tercantum adalah 2 dB.

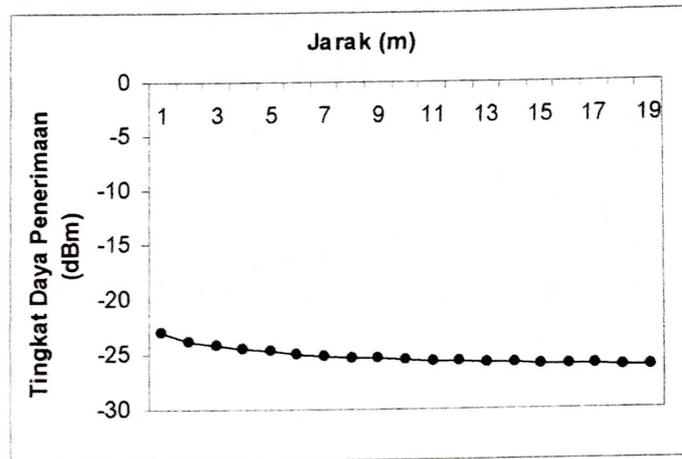
Untuk kasus 1 , berdasarkan model yang ada maka besarnya rugi – rugi lintasan diperoleh dari persamaan :

$$P_1 = S + n_1 \log(r)$$

Sedangkan harga S untuk frekuensi 2,45 GHz adalah $S = 40$ dB dan dari persamaan :

$$\begin{aligned} P_r &= P_t + G_t + G_r - P \\ &= 13 + 2 + 2 - (40 + 2,5 \log(r)) \\ &= -23 - (2,5 \log(r)) \end{aligned}$$

didapat grafik sebagai berikut :



Gambar 5. Tingkat daya penerimaan untuk kasus 1

Untuk kasus 2, berdasarkan model yang ada maka besarnya rugi – rugi lintasan diperoleh dari persamaan :

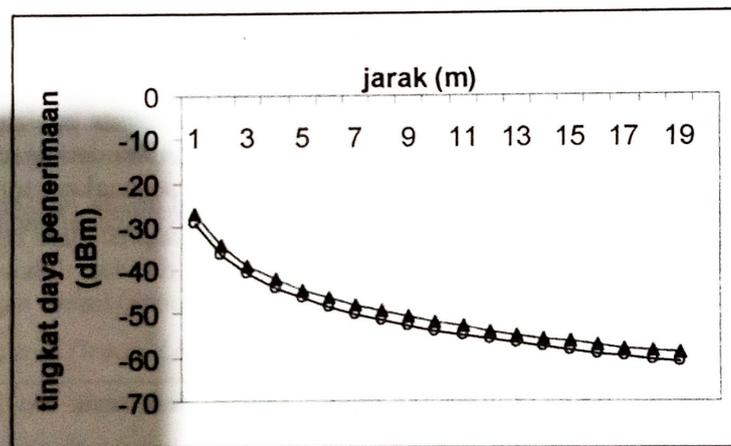
$$P_2 = S + 10 n_1 \log(r_1) + \sum L_w$$

Sedangkan harga S untuk frekuensi 2,45 GHz adalah $S = 40$ dB, $n_1 = 2,5$ dan dari persamaan :

$$Pr = Pt + Gt + Gr - P$$

$$= -23 - ((10 \times 2,5) \times \log r + \sum L_w)$$

dengan memakai harga $L_w = 6$ (beton tipis) dan $L_w = 4$ (dinding batu bata) didapat grafik sebagai berikut :



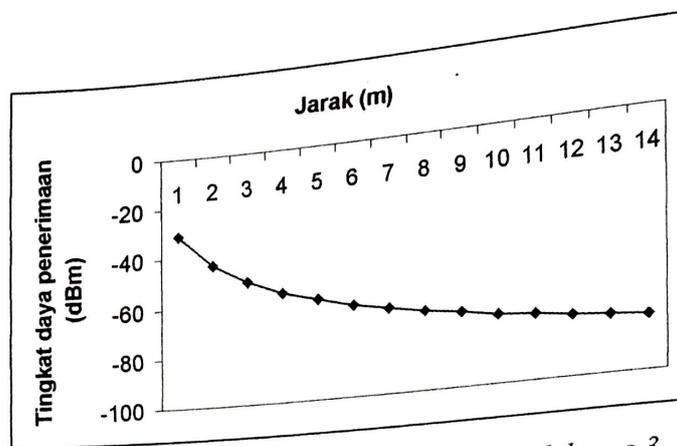
Gambar 6. Tingkat daya penerimaan untuk kasus 2

○ = dinding beton tipis ($L_w = 6$) Δ = dinding batu bata ($L_w = 4$)

Untuk kasus 3, berdasarkan model yang ada maka besarnya rugi – rugi lintasan diperoleh dari persamaan :

$$P_3 = S + 10 n_3 \log (r_1) + k_3 F_3 + 10 n'_3 \log (r/r_1)$$

Dengan $n = 2,5$; $n_3 = 4,19$; $kF = 16,2$ dB dan jarak lantai dengan atap $r_1 = 3$ m maka diperoleh grafik prediksi tingkat daya penerimaan sebagai berikut :



Gambar 7. Tingkat data penerimaan untuk kasus 3

3.4 Analisis Roaming

Roaming adalah proses atau kemampuan wireless client / station untuk berpindah secara halus dari sel ke sel yang lain tanpa kehilangan koneksi ke jaringan. Roaming memungkinkan mobilitas user untuk berpindah – pindah secara bebas antar sel, sementara mereka tetap terhubung ke jaringan. Keberadaan access point yang cukup bisa menyediakan lintasan komunikasi untuk seluruh bagian gedung. Ketika daerah cakupan dari dua atau lebih access point saling overlap, station yang berada di daerah overlap bias. membangun kemungkinan koneksi terbaik dengan salah satu access point sementara secara kesinambungan dicari access point yang terbaik.

4. KESIMPULAN

Dari analisis yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada perencanaan ini dibutuhkan satu buah access point tiap lantai untuk dapat memenuhi daerah cakupan yang ada.
2. Tingkat daya penerimaan minimum yang masih dapat diterima adalah -79dBm. Dari hasil perhitungan untuk kasus 1 dan 2, sampai pada jarak 18 meter dari access point tingkat daya penerimaan masih diatas tingkat daya minimum (ON), sedangkan untuk kasus 3, kondisi tingkat daya penerimaan diatas tingkat daya minimum (ON) dicapai pada radius sampai 14 m, diatas nilai 14 m maka kondisi transmisi OFF.

5. REFERENSI

- A.B, Yahya, 1999, *Propagasi Radio Dalam Ruangan*, Elektro Indonesia No 24 Thn V, Januari / Februari, Jakarta, Indonesia
- Donlan, Brian M; Venkatesh, Swaroop; Bharadwaj, Vivek; Buehrer, R. Michael and An Tsai, Jiann-An, __, *The Ultra-Wideband Indoor Channel*, The Mobile and Portable Radio Research Group, Blacksburg, VA, USA
- Lu, Dai and Rutledge, Dave, 2003, *Investigation of Indoor Radio Channels from 2.4GHz to 24GHz*, June 22-27, 2003, IEEE APS 2003, Columbus Ohio
- Hamdani Gunawan, Arief dan Putra, Andi, 2004, *Komunikasi Data via IEEE 802.11*, Dinastindo, Jakarta
- K. Gaarg, Vijay, Kenneth F. Smolik And Josep, E Wilkes, 1997, *Application of CDMA in Wireless / Personal Communication*, Prentice Hall Inc, New Jersey, USA
- Macaino, Raymond C. V, 1997, *Cellular Radio*, Mc Graw Hill, USA
- Rapaport, Theodore S, 1996, *Wireless Communication : Principles and Practice*, Prentice Hall Inc, New Jersey, USA