

# Karakteristik Redaman dan *Shadowing* dalam Ruang pada Kanal Radio 2,4 Ghz

Lina Mubarokah dan Puji Handayani

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: lina.mubarokah@gmail.com, puji@ee.its.ac.id

**Abstrak**—Sistem komunikasi nirkabel menggunakan gelombang elektromagnetik yang melewati kanal radio untuk menyalurkan informasi dari pemancar ke penerima. Kanal radio merupakan bagian dari propagasi pada sistem nirkabel yang memiliki karakteristik tak tentu tergantung pada kondisi lingkungannya. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi karakteristik kanal radio diantaranya adalah redaman dan *shadowing*. Pengukuran terhadap kanal radio diperlukan untuk mendapatkan hasil data yang valid dari kondisi yang ada sehingga rugi-rugi lintasan yang terjadi dapat diketahui. Karakteristik rugi lintasan dan *shadowing* dibutuhkan untuk menganalisa bagaimana jalannya suatu sistem dan bagaimana optimasi kinerja sistem dengan menampilkan estimasi *coverage area* yang dapat dilayani oleh sistem tersebut. Pengambilan data dilakukan dengan pengukuran menggunakan sistem WARP (Wireless Open Access Research Platform) yang terintegrasi dengan software Matlab 2012a pada lingkungan dalam ruang dengan kanal radio 2,4 GHz untuk mengukur level sinyal pada jalur antara pengirim dan penerima. Hasil dari pengambilan data dikalkulasi menggunakan Matlab untuk mendapatkan nilai *pathloss* eksponen, standar deviasi, karakteristik redaman, karakteristik *shadowing* dan juga fungsi distribusi dari *shadowing* yang dihasilkan. Dari data hasil perhitungan karakteristik *pathloss* dan *shadowing* dapat diketahui bahwa kondisi lingkungan sangat berpengaruh terhadap nilai *pathloss* eksponen dan distribusi *shadowing* dan juga cakupan wilayah pada sistem komunikasi propagasi dalam ruang pada kanal radio 2,4 GHz.

**Kata Kunci**—*pathloss*, *shadowing*, kanal radio 2,4 GHz, propagasi indoor.

## I. PENDAHULUAN

UDARA sebagai media propagasi komunikasi radio untuk menyalurkan informasi dari pemancar ke penerima memiliki berbagai kendala akibat adanya penghalang di lingkungan sekitarnya. Kendala tersebut antara lain refraksi, difraksi, refleksi, dan absorpsi yang dapat memicu terjadinya redaman dan *Shadowing*.

Propagasi merupakan proses perambatan gelombang radio dari antena pemancar ke antena penerima. Redaman propagasi (*pathloss*) merupakan efek dari turunnya level daya sinyal akibat menempuh jarak tertentu. *Shadowing* merupakan fluktuasi daya rata-rata sinyal terima di sepanjang lingkungan propagasi komunikasi bergerak dengan perubahan sinyal yang lambat. Fenomena *shadowing* terjadi karena adanya penghalang antara pemancar dan penerima di lingkungan yang memiliki kontur menonjol.

Masalah yang terjadi akibat gangguan pada kanal propagasi sangat berpengaruh pada kelangsungan komunikasi antara pengirim dan penerima. Untuk itu, diperlukan pemetaan

karakteristik dalam mengatasi masalah tersebut. Hal ini dimaksudkan untuk mengoptimalkan kinerja dari suatu sistem *wireless* dan juga untuk mendapatkan *coverage area* yang dapat dilayani oleh sistem tersebut. Pengukuran diperlukan untuk mendapatkan hasil data yang valid dari kondisi yang ada agar rugi-rugi lintasan yang terjadi dapat diketahui. Pemetaan karakteristik diperlukan untuk menampilkan bagaimana jalannya suatu sistem dan bagaimana optimasi kinerja sistem dengan menampilkan estimasi *coverage area* yang dapat dilayani oleh sistem tersebut.

Pengukuran dilakukan pada kondisi lingkungan propagasi dalam ruangfrekuensi 2,4 GHz menggunakan WARP yang terintegrasi MATLAB dilanjutkan dengan perhitungan untuk mendapatkan karakteristik redamandan *shadowing*.

## II. TEORI PENUNJANG

### A. Komunikasi Nirkabel

Komunikasi nirkabel merupakan suatu bentuk transfer informasi antara dua titik atau lebih menggunakan kanal radio sebagai media penyalur sinyal informasi. Selama melewati kanal radio, sinyal melalui berbagai macam halangan. Hal ini menyebabkan terjadinya pelemahan sinyal pada penerima. Kanal *wireless* merupakan faktor pokok yang membatasi kinerja sistem komunikasi nirkabel. Jarak antara pemancar dan penerima dapat bervariasi dari LOS (*line of sight*) hingga tertutup oleh penghalang (NLOS). Secara umum terdapat 6 macam tipe sistem komunikasi nirkabel, yakni *Satellite fixed links*, *Terrestrial fixed links*, *Megacell*, *Macrocell*, *Microcell*, dan *Picocells* [1].

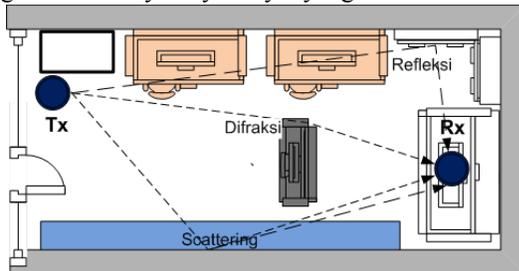
### B. Propagasi Gelombang Radio

Propagasi merupakan peristiwa perambatan gelombang radio dari antena pemancar ke antena penerima yang melewati udara sebagai media penyalur sinyal. Berdasarkan jenisnya, propagasi gelombang radio dapat dikelompokkan propagasi dalam ruang (*indoor*) dan propagasi luar ruang (*outdoor*).

Fenomena *fading* secara luas diklasifikasikan menjadi dua jenis yang berbeda: *Large Scale Fading* dan *small-scale fading*. *Large scale fading* ditandai dengan rata-rata *path loss* dan *shadowing*. *Pathloss* adalah besarnya daya yang hilang dalam menempuh jarak tertentu. *Shadowing* ditandai dengan variasi rata-rata *pathloss* antara pemancar dan penerima di lokasi yang tetap.

Mekanisme dasar propagasi gelombang elektromagnetik secara umum dapat dikategorikan menjadi tiga yaitu refleksi (pantulan), *scattering* (hamburan) dan difraksi (pembelokan).

Pada propagasi *indoor* karakteristik kanal antara lain dipengaruhi oleh variasi ukuran, bentuk, struktur dan material bangunan, dan juga kepadatan dan pergerakan pengguna yang mempengaruhi besarnya daya sinyal yang diterima.



Gambar 1. Mekanisme dasar propagasi : refleksi (pantulan), scattering (hamburan) dan difraksi (pembelokan).

C. Link Budget

Link budget diperkenalkan sebagai pendekatan yang berguna untuk desain dasar dari sistem komunikasi. Untuk skenario dalam ruang, link budget seringkali telah dibangun berdasarkan sistem distribusi tertentu yang digunakan.

Free Space Loss

Propagasi *Free Space Loss* digunakan untuk memprediksi level daya terima ketika Tx-Rx memiliki lintasan langsung tanpa penghalang (*obstacle*). Pemodelan *free space loss* ditunjukkan oleh persamaan Friis [1] sebagai berikut :

$$L_{dB} = -20 \log \left( \frac{\lambda}{4 \pi d} \right) \quad (1)$$

Dimana tanda negatif pada persamaan (1) disertakan sehingga nilai  $L_{dB}$  adalah loss pada kenyataannya.

Model Empiris Path loss

Model propagasi menunjukkan penurunan level daya sinyal rata-rata secara logaritmik terhadap jarak [2]. Hal ini diperlihatkan oleh persamaan Model Empiris sebagai berikut :

$$P(d) \propto \left( \frac{d}{d_0} \right)^n \quad (2)$$

atau

$$\overline{P}(d) = \overline{P}(d_0) + 10 n \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right) \quad (3)$$

Dimana  $\overline{P}(d)$  adalah nilai *pathloss*,  $\overline{P}(d_0)$  adalah *pathloss* pada jarak referensi dan  $n$  adalah nilai *pathloss* eksponen. Jarak referensi biasanya bernilai antara 1 - 10 meter untuk *indoor* dan 10 – 100 meter untuk *outdoor* [3].

Pathloss eksponen merupakan parameter yang sangat berpengaruh dalam menentukan batas kritis cakupan wilayah. Parameter ini dapat dicari berdasarkan pada pengukuran. Secara umum, parameter  $n$  dapat dikelompokkan sesuai kondisi pada lingkungannya, seperti pada tabel 1.

Tabel 1.  
Nilai pathloss eksponen (n) secara umum [1]

Environment	Path Loss Exponent, n
Free space	2
Urban area cellular radio	2.7 to 3.5
Shadowed urban cellular radio	3 to 5
In building line-of-sight	1.6 to 1.8
Obstructed in building	4 to 6
Obstructed in factories	2 to 3

D. Log-Normal Shadowing

Penelitian yang melibatkan pengukuran pada berbagai jarak menunjukkan bahwa nilai  $P(d)$  bersifat acak dan terdistribusi *log-normal*. *Log-normal shadowing* menjelaskan nilai rata-rata *pathloss* dengan jarak Tx-Rx. Probabilitas level daya terima dapat ditentukan menggunakan *Q-function* yang terdefiniskan sebagai [2] :

$$Q(z) = \frac{1}{\sqrt{2} \pi} \int_z^{\infty} \exp \left( -\frac{x^2}{2} \right) dx$$

$$= \frac{1}{2} \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{z}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad (4)$$

Error function (erf) didefinisikan sebagai :

$$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-x^2} dx \quad (5)$$

Sehingga, probabilitas level daya terima di atas *threshold*( $\gamma$ ) bisa dihitung dari *cumulative density function* sebagai :

$$P \{ \Pr(d) > \gamma \} = Q \left( \frac{-\overline{P}(d)}{\sigma} \right) \quad (6)$$

Dimana  $\gamma$  adalah level *threshold*,  $\overline{P}(d)$  adalah daya yang diterima pada jarak  $d$  dari pemancar,  $\sigma$  adalah standar deviasi.

E. Kolmogorov-Smirnov Test

Karakteristik statik suatu parameter yang diperoleh dari hasil pengukuran dapat dimodelkan dengan distribusi teoritis. Salah satu metode pemodelannya adalah menggunakan pengujian distribusi variabel acak kontinu *Kolmogorov-Smirnov* (*K-S Test*). *K-S Test* mengukur nilai maksimum mutlak dari selisih *cumulative histogram* yang diamati ( $F^n(x)$ ) dengan teori *cumulative distribution function* (*cdf*) ( $F_x(x)$ ) seperti persamaan (7) :

$$D_2 = m a \max_i \left\{ \left| F_i(x_i) - F_x(x_i) \right| \right\}$$

$$= m a \max_i \left\{ \left| F_i(x_i) - F_x(x_i) \right| \right\} \quad (7)$$

Dimana  $x$  merupakan variabel acak yang diuji yang diurutkan mulai dari nilai terendah ke nilai tertinggi.

Tabel 2  
Nilai  $c_{n,\alpha}$  untuk  $\alpha$  0,01 s/d 0,2 dan  $n = 5$  s/d 50

$n \setminus \alpha$	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2
1	0.995	0.975	0.950	0.925	0.900
2	0.929	0.842	0.776	0.726	0.684
3	0.828	0.708	0.642	0.597	0.565
4	0.733	0.624	0.564	0.525	0.494
5	0.669	0.565	0.510	0.474	0.446
10	0.490	0.410	0.368	0.342	0.322
15	0.404	0.338	0.304	0.283	0.266
20	0.356	0.294	0.264	0.246	0.231
25	0.320	0.270	0.240	0.220	0.210
30	0.290	0.240	0.220	0.200	0.190
35	0.270	0.230	0.210	0.190	0.180
40	0.250	0.210	0.190	0.180	0.170
45	0.240	0.200	0.180	0.170	0.160
50	0.230	0.190	0.170	0.160	0.150
OVER 50	1.63	1.36	1.22	1.14	1.07
	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$

Pada derajat signifikan  $\alpha$  tertentu, hipotesa ditolak jika nilai  $D_2 > c_{n,\alpha}$  dan diterima jika nilai  $D_2 < c_{n,\alpha}$ . Nilai  $c_{n,\alpha}$  diberikan pada Tabel 3. Nilai ini akan menentukan apakah data statistik yang digunakan terdistribusi normal atau tidak.

F. Efek Shadowing Terhadap Coverage Area

Efek dari shadowing yang bersifat acak menyebabkan beberapa lokasi yang seharusnya tercakupi berada dibawah level threshold sinyal terima. Karakteristik shadowing diperlukan untuk menghitung presentase coverage area  $U(\gamma)$  yang berbentuk lingkaran dengan radius R dari pemancar, dan threshold ( $\gamma$ ) yang nilainya lebih kecil dari/atau sama dengan nilai level daya terima [4]. Dengan asumsi jarak radial dari pemancar  $d = r$ , probabilitas level sinyal pada jarak yang diterima  $\Pr[P(r) > \gamma]$ , dalam area  $dA$ ,  $U(\gamma)$  dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$U(\gamma) = \frac{1}{\pi R^2} \int \Pr[P(r) > \gamma] dA$$

$$= \frac{1}{\pi R^2} \int_0^{2\pi} \int_0^R \Pr[P(r) > \gamma] r dr d\theta \quad (8)$$

Dengan nilai  $\Pr[P(r) > \gamma]$  dari persamaan berikut :

$$\Pr[P(r) > \gamma] = Q\left(\frac{\gamma - \overline{P(r)}}{\sigma}\right)$$

$$= \frac{1}{2} - \frac{1}{2} e^{-r} \operatorname{erf}\left(\frac{\gamma - \overline{P(r)}}{\sigma\sqrt{2}}\right)$$

$$= \frac{1}{2} - \frac{1}{2} e^{-r} \operatorname{erf}\left(\frac{\gamma - \left[ P(d_0) + 10n \log\left(\frac{r}{d_0}\right) \right]}{\sigma\sqrt{2}}\right)$$

Jika nilai pathloss pada batas cell ( $r = R$ ) adalah

$$P(R) = P(d_0) + 10n \log\left(\frac{R}{d_0}\right) + 10n \log\left(\frac{r}{R}\right) \quad (9)$$

Maka persamaan probabilitas level sinyal terima adalah :

$$\Pr[P(r) > \gamma] = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} e^{-r} \operatorname{erf}\left(\frac{\gamma - \left[ P(d_0) + 10n \log\left(\frac{R}{d_0}\right) + 10n \log\left(\frac{r}{R}\right) \right]}{\sigma\sqrt{2}}\right) \quad (10)$$

Jika diasumsikan :

$$a = \frac{\gamma - P(d_0) + 10n \log\left(\frac{R}{d_0}\right)}{\sigma\sqrt{2}} \quad \text{dan} \quad b = \frac{10n \log e}{\sigma\sqrt{2}}$$

Maka persamaan presentase coverage area menjadi :

$$U(\gamma) = \frac{1}{2} - \frac{1}{R^2} \int_0^R r e^{-r} \operatorname{erf}\left(\frac{a + b \log\left(\frac{r}{R}\right)}{\sigma\sqrt{2}}\right) dr \quad (11)$$

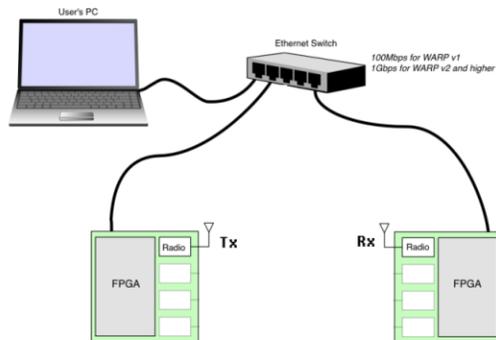
Dengan menggunakan substitusi  $y = a + b \log\left(\frac{r}{R}\right)$  maka

presentase coverage area menjadi :

$$U(\gamma) = \frac{1}{2} \left( 1 - e^{-\frac{a}{b}} + \exp\left[\frac{1-2}{b^2} \left[ 1 - e^{-\frac{a}{b}} \right] \right] \right) \quad (12)$$

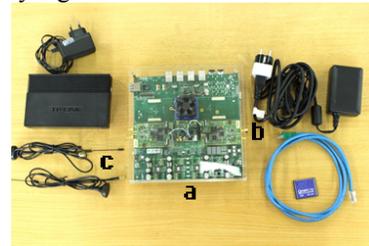
III. METODE PENELITIAN

A. Pengukuran



Gambar 2. Blok pengaturan pengukuran dengan peralatan berupa modul WARP, antenna omni 2.4 GHz, CF card, kabel UTP, power supply, dan switch Gigabit Ethernet.

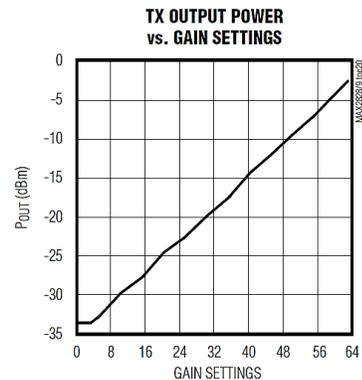
Pengukuran diambil menggunakan modul WARP yang terhubung dengan Gigabit ethernet dan PC/laptop dengan Matlab didalamnya sebagai media eksekusi program berisi data/informasi yang akan ditransmisikan.



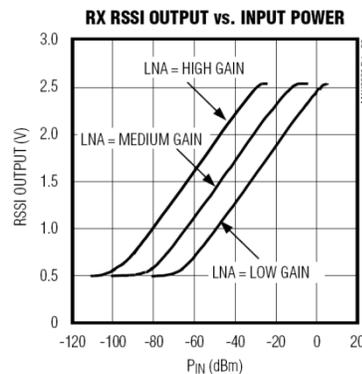
Gambar 3. (a) FPGA Board WARP Versi 2.2 (b) Radio board IC RF transceiver MAX2829 RF 2.4 GHz - 2.5GHz, 4.9 GHz dan 5.875 GHz. (c) Antena omni L-Com RE07U 2,4 GHz, gain 7 dBi, impedansi 50 Ohm.

Pada radio board terdapat beberapa gain amplifier Tx dan Rx yang diatur untuk konfigurasi pengiriman sinyal. Spesifikasinya antara lain sebagai berikut :

- Jalur Tx gain diterapkan pada tiga amplifier:
  - Tx BB: range [0: 3] berlaku 1,5 dB/step
  - Tx RF: range [0: 63] berlaku 0.5 dB/step
  - Tx RF PA tetap dengan gain 20 dB
- Jalur Rx berlaku gain pada dua amplifier:
  - Rx BB: range [0: 31] berlaku 2 dB/step
  - Rx RF: range [1: 3] berlaku 15 dB/step



Gambar 4. TX Output power vs Gain Setting pada MAX2829. Nilai gain linear pada range 4 s/d 63. Konversi daya output dinyatakan dalam persamaan :  $P_{out} = 0.5252x - 36.1017$  dengan x adalah nilai gain setting.



Gambar 5. Perbandingan tegangan RSSI dengan daya input MAX2829.

Node WARP memiliki tiga level LNA, masing-masing sebagai Low Gain, Medium Gain dan High Gain. Karakteristik level RSSI (Receive Signal Strength Indicator) MAX2829 ditunjukkan pada gambar 5.

RSSI juga digunakan untuk mendapatkan nilai daya terima. Pembacaan RSSI menggunakan 10-bit linear dalam dB yang dapat dikonversi menjadi daya terima dalam dBm. RSSI diukur setelah RF amplifier, sehingga konversi nilai RSSI menjadi daya terima bergantung pada pengaturan Gain RX\_RF [5].

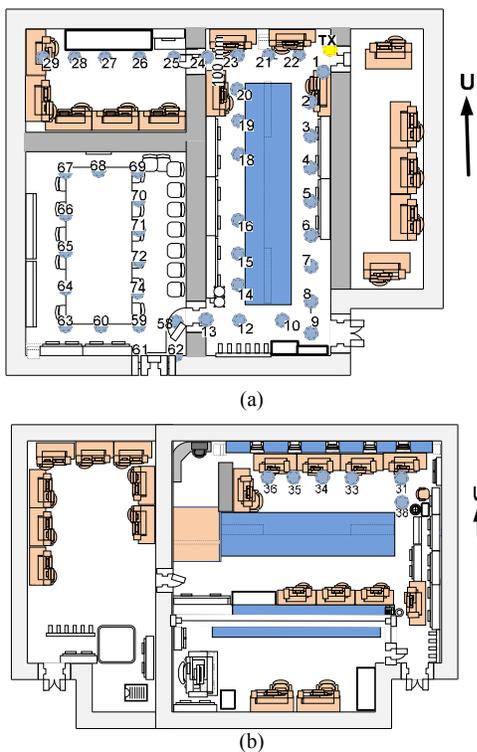
- High Gain (RX\_RF = 3), nilai RSSI = 0 adalah -100 dBm dan RSSI = 1023 adalah -30 dBm.
- Medium Gain (RX\_RF = 2), nilai RSSI = 0 adalah -85 dBm dan RSSI = 1023 adalah -15 dBm.
- Low Gain (RX\_RF = 1), nilai RSSI = 0 adalah -70 dBm dan RSSI = 1023 adalah 0 dBm.

Dalam hal ini, persamaan konversi dari RSSI kedalam nilai dBm daya terima yang digunakan adalah :

$$Pr(dBm) = \left(\frac{70}{1023}\right) \times RSSI - (RxGain_{RF} - 1) \times 15 \quad (14)$$

**B. Lokasi Pengukuran**

Pengukuran dan analisa dilakukan untuk mendapatkan model statistik redaman dan shadowing pada ruangan Laboratorium teknik Multimedia jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Ruangan yang diuji adalah Lab Telekomunikasi Multimedia B304, Ruang seminar B305, serta Lab Antena dan Propagasi B306a.



Gambar 6. Denah pengukuran(a) B305 dan B306, (b) B304 dengan penempatan Tx berada di B306.

**C. Skenario Pengukuran**

Pengukuran dilakukan menggunakan Modul WARP yang terintegrasi dengan Matlab 2012a. Pada awal pengukuran dilakukan konfigurasi terhadap Node 1 dan Node 2 WARP yang akan digunakan sebagai pengirim dan penerima. Parameter yang diatur antara lain frekuensi = 2422 MHz (Channel 3), TxGainBB = 3, TxGainRF = 60, RxGainBB = 5, RxGainRF = 1, jarak d = 1 s/d 17.03 meter, tinggi antena pemancar dan penerima ht = hr = 1,2 meter.

**D. Data Pengukuran**

Daya terima dalam dBm merupakan hasil konversi dari nilai level RSSI yang diterima pada LNA (Low Noise Amplifier). Dalam satu titik pengukuran, diambil lima titik sampel yang dirata-rata untuk mendapatkan nilai daya terima. Hasil ini yang kemudian akan dianalisa dan dihitung untuk mendapatkan karakteristik redaman dan shadowing dalam ruang pada kanal radio 2,4 GHz untuk studi kasus di Lab. Telekomunikasi Multimedia B304 serta Lab. Antena dan Propagasi B306. Hasil daya terima berdistribusi acak dan tidak menentu dikarenakan adanya halangan dan lingkungan sekitar kanal propagasi. Terdapat 49 titik sampel dengan batas penerimaan sinyal ≤ -65 dBm.

**IV. ANALISA HASIL**

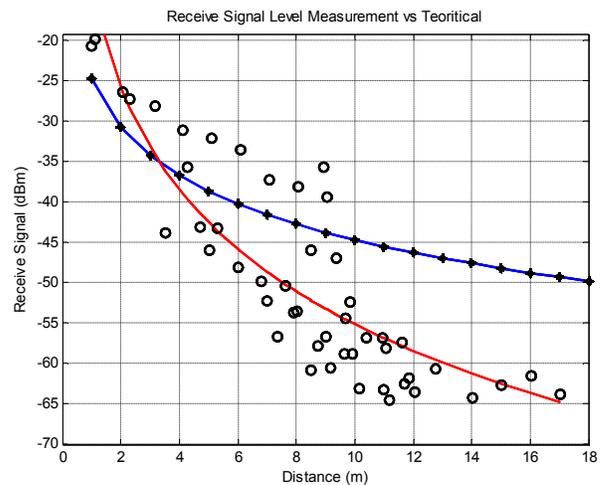
**A. Link Budget**

Hasil perhitungan Link budget secara mendetail diperlihatkan pada tabel 5 dengan nilai frekuensi 2422 MHz, daya pancar -4.5897 dBm, tinggi antena pemancar dan penerima 1.2 meter, dan jarak antar antena 1 s/d 18 meter.

Tabel 3  
Link budget komunikasi dalam ruang pada kanal radio 2,4 GHz

Parameter	Simbol	Nilai
Free Space Loss	FSL	65.23 dB
Total Gain Tx	Gtx	27 dB
EIRP	EIRP	22.4103 dBm
Total Gain Rx	Grx	7 dB
RSL	RSL	-40.7356 dBm
Rx Threshold Level	THrx	≤ -65 dBm

**B. Analisa Hasil Pengukuran**



Gambar 7. Sebaran data daya terima variasi jarak dengan RSL secara teori.

Nilai redaman diperoleh dengan mengurangi nilai daya pancar dengan daya terima pengukuran. Nilai level daya terima pada pengukuran tidak menentu perubahannya seperti pada teori, hal ini dikarenakan adanya redaman, efek multipath dan penghalang yang ada pada kanal radio disepanjang jalur propagasi.

Pada jarak 1 meter nilai RSL teori -24.715 dBm, level daya terima saat pengukuran sebesar -20.5845 dBm. Sedangkan pada jarak 17.03 meter level daya terima pengukuran menunjukkan nilai -63.9586 dBm dan -50.7356 dBm secara teori.

**Karakteristik Redaman**

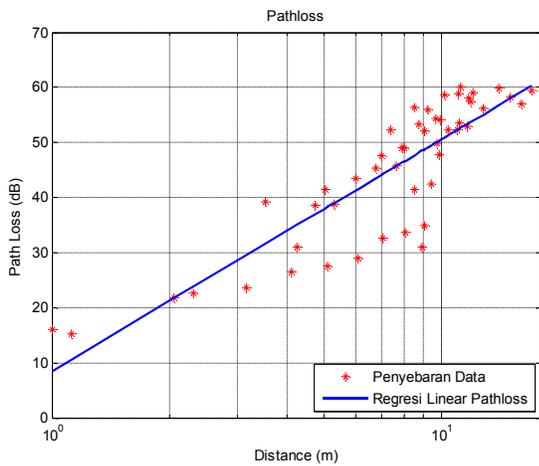
Daya pancar dikurangi dengan masing-masing daya terima hasil pengukuran dan menghasilkan nilai redaman. Nilai redaman dikalkulasi menggunakan regresi linear yang dimodelkan dengan persamaan pathloss empiris untuk menampilkan karakteristiknya dan nilai pathloss eksponen.

$$Y = a + b X$$

$$\overline{P}(d) = \overline{P}(d_0) + 10 n \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right)$$

Persamaan regresi linear  $Y=a+bX$  di indikasikan sebagai persamaan (3) dengan  $Y$  sebagai *pathloss* hasil pengukuran  $\overline{P}(d)$ ,  $a$  sebagai nilai *pathloss* jarak referensi  $\overline{P}(d_0)$ ,  $b$  sebagai  $10n$ , dan  $X$  sebagai logaritmik jarak terhadap jarak referensi  $\log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right)$ . Sehingga, *pathloss* eksponen adalah  $b/10$ .

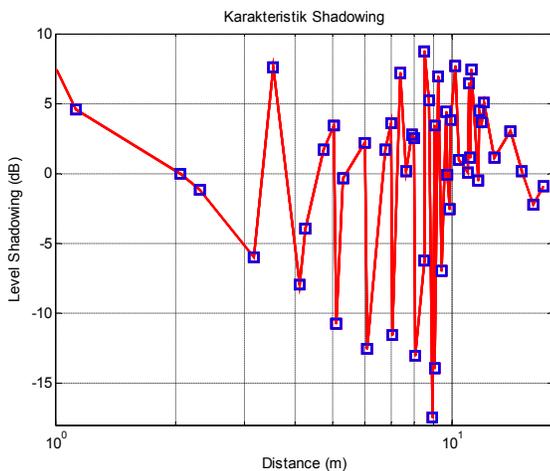
Gambar 8 menunjukkan hubungan *pathloss* fungsi jarak dalam skala logaritmik dengan kondisi lingkungan propagasi NLOS dalam ruang. Nilai *pathloss* semakin besar seiring bertambahnya jarak antara pemancar dan penerima.



Gambar 8. Penyebaran *pathloss* terhadap jarak. Garis linear menunjukkan pola peningkatan rugi lintasan disertai sebaran data dengan tanda ‘\*’.

Pada gambar 8 dengan jarak 1 meter s/d 17.03 meter dan menghasilkan *pathloss* eksponen ( $n$ ) sebesar 4.2. Bila dibandingkan dengan hasil pada referensi [1][6] eksponen masuk pada kriteria *obstructed in building*.

**Karakteristik Shadowing**



Gambar 9. Karakteristik shadowing dalam ruang Lab. Teknik Telekomunikasi Multimedia B304 dan Lab. Antena Propagasi B306

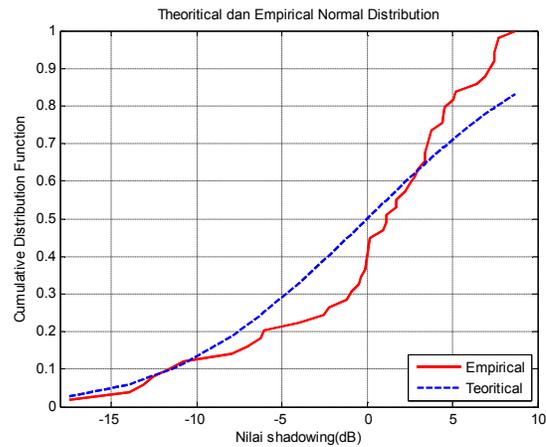
Nilai *shadowing* didapatkan dengan ketentuan *pathloss* hasil pengukuran dikurangi *pathloss* empiris dengan memasukkan elemen *pathloss* eksponen. Kemudian dari nilai rata-rata *shadowing* didapatkan standar deviasinya. Karakteristik *shadowing* dipergunakan untuk menentukan model distribusi yang terjadi.

Pada gambar 9 pengolahan data karakteristik *shadowing* menghasilkan nilai standar deviasi ( $\sigma$ ) sebesar 6.37 dB yang memperlihatkan nilai selisih acak *shadowing* terhadap nilai rata-ratanya yang mendekati nol yakni  $3.117 \times 10^{-14}$  dB.

**Kolmogorov-Smirnov Test**

Kolmogorov-Smirnov Test digunakan untuk mengetahui apakah model distribusi pada suatu data terdistribusi normal atau tidak. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan diagram cumulative empiris dengan teori CDF (*Cumulative Distribution Function*).

Proses pengujian awalnya dilakukan dengan mengatur nilai *shadowing* dari nilai terendah ke nilai tertinggi. Kemudian fungsi distribusi yang diuji  $F^0[x_i]$  didapatkan dari bentuk cdf empiris, sedangkan fungsi  $F_x[x_{(i)}]$  merupakan bentuk cdf teori berdasarkan nilai rata-rata dan nilai standar deviasi.



Gambar 10. Grafik *Cumulative Distribution Function* secara empiris dan teori terhadap karakteristik *Shadowing*

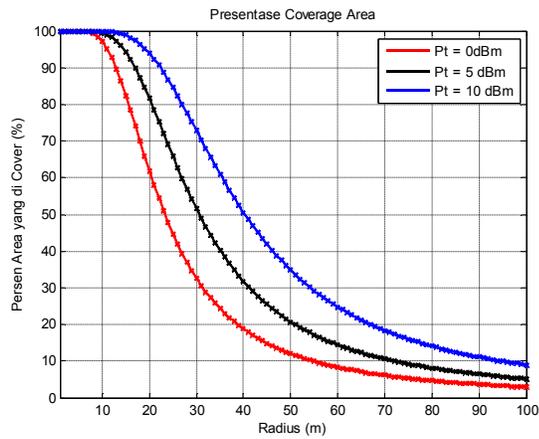
Gambar 10 menunjukkan kurva distribusi secara teoritis dengan memasukkan nilai rata-rata *shadowing* dan standar deviasinya dan juga fungsi distribusi kumulatif berdasarkan pada hasil pengukuran.

Sebanyak 49 sampel diuji. Sehingga, dengan  $\alpha$  sebesar 0,05 nilai  $c_{n,\alpha}$  K-S Test tabel 2 adalah 0.19. Nilai  $D_2$  yang dihasilkan dari selisih cdf adalah 0.176. Nilai  $D_2 < c_{n,\alpha}$  sehingga hipotesa diterima bahwa karakteristik *shadowing* yang dihasilkan terdistribusi normal (dalam dB).

**Presentase Coverage Area**

Akibat adanya *shadowing* dan redaman di sepanjang jalur propagasi, kemampuan sistem untuk mencakup area menurun. Prediksi presentase cakupan wilayah pada suatu sistem komunikasi nirkabel dapat diperoleh dari karakteristik redaman dan *shadowing* yang telah dihasilkan.

Jarak referensi  $d_0$  pada grafik ditentukan 1 meter dengan nilai *pathloss* pada jarak referensi  $PL(d_0)$ . Nilai *pathloss* ini dikalkulasi dengan nilai ambang batas penerima, daya pancar, standar deviasi, dan *pathloss* eksponen untuk mendapatkan *presentase coverage area* dengan persamaan (12).



Gambar 11. Presentase Coverage Area

Gambar 11 memperlihatkan persentase area yang menerima sinyal sama/lebih besar dari batas *threshold* berdasarkan pada karakteristik *shadowing* dan redaman sinyal. Diasumsikan batas ambang penerimaan sinyal adalah -90 dBm yang merupakan sensitivitas penerima pada umumnya untuk pemancar Wifi. Pada grafik berwarna merah daya yang dipancarkan adalah sebesar 0 dBm, grafik berwarna hitam 5 dBm dan grafik berwarna biru 10 dBm. Apabila ditentukan batas 50% area yang menerima sinyal diatas -90 dBm, dengan daya pancar yang kecil yakni sebesar 0 dBm cakupan wilayah sampai pada panjang lintasan sejauh 23 meter dari antena pemancar. Daya sebesar 5 dBm dapat mencakup wilayah sejauh 30 meter. Sedangkan penggunaan daya sebesar 10 dBm dapat menjangkau lintasan propagasi yang lebih jauh, yakni 40 meter.

Tabel 4  
Presentase *coverage area* pada propagasi dalam ruang Lab. Telekomunikasi Multimedia

Daya Pancar	Prosentase Coverage (%)					
	100 %	90 %	80 %	70 %	60 %	50 %
0 dBm	4,6 m	12,9 m	15,6 m	18 m	20,5 m	23,2 m
5 dBm	6,1 m	17 m	20,5 m	23,6 m	26,9 m	30,6 m
10 dBm	8 m	22,3 m	27 m	31,1 m	35,4 m	40,2 m

Tabel 4 menunjukkan presentase pada kondisi kanal radio dalam ruang dengan jarak lintasan tertentu antara pemancar dan penerima di Lab. Telekomunikasi Multimedia dan Lab. Antena dan Propagasi. Cakupan yang tidak merata dan tidak luas menunjukkan efek redaman dan *shadowing* pada lingkungan tersebut cukup tinggi.

Dari keseluruhan data yang telah diperoleh, hasilnya terlihat pada tabel 5.

Tabel 5.

Hasil perhitungan nilai karakteristik redaman dan *shadowing* dalam ruang pada kanal radio 2,4 GHz Lab Telekomunikasi Multimedia

Parameter	Data Keseluruhan
Kondisi Propagasi	Indoor NLOS
Jarak	1 – 17.03 meter
Pathloss Exponent	4.2
Standar Deviasi ( $\sigma$ )	6.37dB
Rata-rata Shadowing	3.1177e-14 dB
Nilai $D_2$	0.17
Nilai $c_{n,\alpha}$	0.19 (50 sampel)
Distribusi	Normal ( $D_2 > c_{n,\alpha}$ )
Coverage Area	23,2 m ; 30,6 m ; 40,2 m
(untuk persen area > 50%)	(Pt = 0 dBm; 5 dBm; 10 dBm )

## V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan Desain sistem pengukuran komunikasi nirkabel dapat diterapkan pada WARP dan digunakan untuk mengukur daya terima komunikasi SISO dengan lingkungan propagasi NLOS dalam ruang pada kanal radio 2,4 GHz. Pada jarak 1 s/d 17.03 meter didapatkan nilai pathloss eksponen sebesar 4.2. Standar deviasi pada perhitungan karakteristik *shadowing* menghasilkan nilai 6.37 dB dengan rata-rata *shadowing* mendekati nol. Nilai selisih dari distribusi karakteristik *shadowing* secara teoritis dan empiris menghasilkan nilai  $D_2$  sebesar 0.17. Nilai  $c_{n,\alpha}$  yang dihasilkan adalah sebesar 0.19, lebih besar daripada nilai  $D_2$ , sehingga hipotesa dapat diterima bahwa karakteristik *shadowing* pada lingkungan propagasi dalam ruang di Lab Telekomunikasi Multimedia terdistribusi normal (log normal dalam dB). Daya sebesar 0 dBm, 5 dBm dan 10 dBm dapat mencakup 50 % area dengan *threshold* -90 dBm untuk lingkungan propagasi *indoor* yang jaraknya mencapai masing-masing 23,2 m, 30,6 m dan 40,2 m

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. R. Saunders, A. Aragon-Zavala, *Antennas And Propagation For Wireless Communication Systems 2nd Ed.* Chichester, England : John Wiley & Sons Ltd., 2007. hal. 4.
- [2] B. Sklar, *Digital Communications Fundamentals and Applications, 2nd ed.* Upper Saddle River, NJ : Prentice-Hall, 2001. pp. 286–290.
- [3] N. Yarkoni, N. Blaunstein., *Prediction Of Propagation Characteristics In Indoor Radio Communication Environments.* Progress In Electromagnetics Research, Beer Sheva, Israel : PIER 59, 2006.
- [4] Parson, J. D. *The Mobile Radio Propagation Channel, 2nd Ed.* s.l. : John Wiley & Sons, 2000.
- [5] Seybold, J. S., *Introduction to RF Propagation.* 2005, JOHN WILEY & SONS, INC.
- [6] Goldsmith, Andrea. *Wireless Communication.* s.l. : Cambridge University Press, 2005.