

## J147 - KINERJA JARINGAN NIRKABLE UNTUK PENENTUAN JARAK JANGKAUAN SIGNAL DENGAN METODE *LINK BUDGET*

Ritzkal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun Bogor  
Jl. KH. Sholeh Iskhandar Km 2 Kota Bogor 16162  
Email: ritzkal@ft.uika-bogor.ac.id

### Abstrak

Teknologi *Wireless Fidelity* atau WiFi merupakan teknologi yang mampu membangun jaringan komunikasi aktif yang baik pada berbagai macam situasi, misalnya wilayah terpencil/ rural yang belum terjangkau jaringan *fixed cable* atau *fiber optic* hingga kondisi para pengguna yang bersifat *semi-nomadic* dan *mobile*. Masalah yang dapat digambarkan yaitu ketika terdapat banyak redaman dan penghalang yang menyebabkan lingkup area jangkauan sinyal menjadi tidak terlalu luas sehingga sinyal yang dihasilkan perangkat radio pada *base station* tidak mampu menjangkau perangkat WiFi milik pengguna jaringan yang berada pada jarak yang relatif jauh dari titik pemancar. Tujuan dari penelitian ini adalah (i) mendapatkan hasil kinerja media akses jaringan menggunakan *wireless dongle*, (ii) mendapatkan hasil kinerja perangkat *wireless controller onboard router*. Metode penelitian yang dilakukan adalah (i) melakukan teknik analisis data yang digunakan yaitu membandingkan data hasil perhitungan fungsi teoritis *Link Budget* dengan data hasil perolehan uji coba lapangan terhadap perangkat, (ii) Uji coba produk dilakukan sesuai dengan skema rancangan dalam gambar tersebut. Pengujian dilakukan dengan cara melakukan pelacakan sinyal menggunakan perangkat penerima yang dapat dibawa (*mobile*) pada jarak tertentu. Hasil yang diperoleh (i) Rekayasa media akses jaringan menggunakan *usb wireless dongle* ini menghasilkan kualitas sambungan sinyal yang lebih baik dibandingkan perangkat *wireless controller onboard* yang terdapat pada router yang menyebabkan area jangkauan sinyal perangkat dapat menjadi lebih luas yaitu sebesar 6,79% hingga 20,63%, (ii) hasil kinerja perangkat *wireless controller onboard router* dengan nilai masing-masing berkisar antara (-)5,76% sampai 11,87% dan (-)5,27% sampai 15,32%.

**Kata kunci:** *base station; link budget; link quality; wireless controller onboard; WiFi*

### Pendahuluan

Jaringan sangat diperlukan pada era komputer saat ini sebagai media transaksi data secara kontinu. Dampak sosial pengguna juga menyebabkan komputer harus memiliki fungsi komunikasi aktif untuk dapat selalu berinteraksi tanpa terbatas oleh jarak (Ratih, 2011). Penerapan jaringan harus disesuaikan dengan kondisi teknis lokasi dan pengguna untuk meningkatkan efisiensi jaringan tersebut. Penerapan jaringan yang menggunakan media frekuensi radio jauh lebih fleksibel daripada media kabel sebab dapat memiliki jangkauan kawasan dan pengguna yang lebih besar (Hayri, 2005). Media frekuensi radio juga dapat digunakan dengan baik oleh pengguna yang *semi-nomadic* hingga *mobile* (Ratih, 2011).

Teknologi *Wireless Fidelity* atau Wi-Fi merupakan teknologi yang dapat digunakan untuk membangun jaringan nirkabel melalui sinyal/frekuensi radio, namun sinyal akan semakin melemah seiring meningkatnya jarak pengguna dari sumber sinyal/titik akses. Semakin tinggi frekuensi kerja yang digunakan juga akan semakin meningkatkan jumlah *path loss* yang dihasilkan (Gast, 2005). Perangkat Wi-Fi yang dikombinasikan dengan modul *booster/amplifier* merupakan perangkat yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah teknis penerapan jaringan nirkabel, sebab kombinasi perangkat ini dapat meningkatkan kekuatan sinyal nirkabel dan memperluas jangkauan jaringan nirkabel (Kadu, 2011). *Booster/amplifier* konvensional yang ada saat ini pada umumnya memiliki daya yang sangat tinggi tetapi tidak dapat diatur ulang sesuai kebutuhan, serta tersedia dipasaran dengan harga yang mahal (Purbo, 2007). Sebagai pengganti modul tersebut, kini tersedia modul *amplifier* yang terintegrasi dengan perangkat *wireless network adapter* dengan daya yang dapat diatur ulang dan harga yang lebih murah. Penggunaan antena *omni-directional* digunakan untuk memperoleh bentuk radiasi sinyal yang berupa pola radial pada kedudukan *planar horizontal* (Irianto, 2008). Hal ini baik untuk digunakan dalam pemancaran sinyal ke segala arah pada posisi  $360^\circ$  *planar horizontal*. *Link budget* merupakan suatu model perhitungan awal dalam mendesain suatu sistem komunikasi *wireless* yang dipergunakan untuk menghitung total *loss* antara *transmitter* menuju *receiver* (Djaelani, 2010). Model tersebut kemudian dijadikan sebagai dasar penentu dalam meningkatkan daya yang akan

ditransmisikan oleh perangkat *router* melalui antena pada *base station* kepada perangkat *receiver* pengguna sebagai *client* jaringan tersebut.

Proses peningkatan area jangkauan sinyal dapat diketahui dengan nilai besaran *equivalent isotropically radiated power* atau EIRP, total loss (*Free Space Loss* dan halangan lainnya) serta *receive signal level* atau RSL melalui perhitungan persamaan teoritis *link budget* (Djaelani, 2010) yang mana data hasil perhitungan *link budget* tersebut berupa besaran daya EIRP yang dapat dipergunakan untuk menentukan batasan tingkat kebisingan diudara terbuka yang dihasilkan oleh perangkat. Cara yang akan diterapkan yaitu membuat nilai minimal dari tingkat kekuatan sinyal yang akan diterima oleh *client* yang kemudian akan dibandingkan dengan sebuah persamaan yang diperoleh dari perhitungan persamaan EIRP, total loss (*Free Space Loss* dan halangan lainnya) serta RSL. Dalam perancangan jaringan nirkabel, perhitungan *link budget* memiliki peranan yang sangat penting untuk memperoleh data teknis untuk menentukan hasil kinerja yang optimal dari perangkat (Ratih, 2011). Sementara penggunaan perangkat *wireless network adapter* berdaya pancar tinggi yang murah akan semakin meningkatkan efek terhadap efisiensi kerja perangkat dan biaya operasional perancangan jaringan tersebut.

### Metode Penelitian

Metode yang digunakan yaitu eksperimen dengan data kuantitatif konfirmasi dalam penelitian terapan.

1. Memperoleh data perbandingan daya pancar ( $P_T$ ), penguatan antena ( $G_A$ ), redaman ( $\Sigma L$ ), sensitivitas penerima ( $ISL_{OPT}$ ), terhadap jarak (Dist.) yang dihasilkan melalui perhitungan link budget.
2. Merancang-bangun alat pengujian.
3. Memperhitungkan setiap persamaan teoritis tiap terjadi perubahan variabel pada alat pengujian.
4. Menguji hasil perhitungan persamaan teoritis dengan pengujian lapangan untuk memperoleh hasil maksimum.

### Teknik analisis data

Teknik analisis data yang digunakan yaitu membandingkan data hasil perhitungan fungsi teoritis *Link Budget* dengan data hasil perolehan uji coba lapangan terhadap perangkat.

Adapun fungsi teoritis yang digunakan yaitu antara lain:

1. EIRP:

$$EIRP = P_T - L_{C,T} + G_{A,T} \quad (1)$$

Dimana:

$P_T$  = Daya Radio Pemancar (Power Transmit, dBm atau mBm)

$L_{C,T}$  = Kerugian Kabel Pemancar (Loss Cable Transmitter, dBm atau mBm)

$G_A$  = Penguatan Antena Pemancar (Antenna Gain Transmitter, dBi)

2. Free Space Loss :

$$FSL = 32,44 + 20 \log D + 20 \log f \quad (2)$$

Dimana:

$D$  = Jarak (Distance, Km)

$f$  = Frekuensi (MHz)

3. ISL :

$$ISL = EIRP - FSL \quad (3)$$

4. RSL :

$$RSL = ISL + G_{A,R} - L_{C,R} \quad (4)$$

Dimana:

$ISL$  = Level Sinyal Isotropis (Isotropic Signal Level, minus dBm atau mBm)

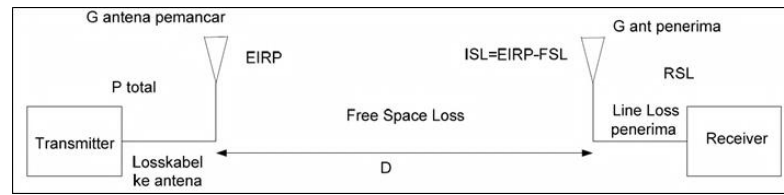
$L_{C,R}$  = Kerugian Kabel Penerima (Loss Cable Receiver, dBm atau mBm)

$G_{A,R}$  = Penguatan Antena Penerima (Antenna Gain Receiver, dBi).

### Uji coba produk

#### Desain uji coba

Uji coba produk dilakukan sesuai dengan skema rancangan dalam gambar tersebut. Pengujian dilakukan dengan cara melakukan pelacakan sinyal menggunakan perangkat penerima yang dapat dibawa (*mobile*) pada jarak tertentu. Sementara perangkat pemancar akan diletakkan pada tempat yang tetap dengan perlakuan yang berbeda, yaitu ruang tertutup (untuk medan redaman) dan ruang terbuka (untuk uji medan bebas).



Gambar 1. Rancangan uji coba

*Subjek uji coba*

Subjek uji coba berupa sinyal yang diwujudkan dalam bentuk level atau tingkat penerimaan.

*Jenis data*

Jenis data berupa data kuantitatif yang dihasilkan melalui proses perhitungan persamaan teoritis.

*Instrumen pengumpulan data*

Instrumen pengumpulan data berupa tabel yang dihasilkan dari perhitungan persamaan teoritis dan gambar grafik yang diambil dari perangkat *analyzer* jaringan yang berupa perangkat *mobile* yang dilengkapi dengan perangkat lunak *WiFi Analyzer*.

**Hasil Penelitian**

Seluruh fungsi persamaan yang telah diuraikan pada bagian teknik analisa data sebelumnya, yaitu persamaan 1 sampai 4 tersebut akan dikombinasikan untuk membentuk satu fungsi yang dapat digunakan untuk mencari jarak maksimal dari setiap kanal (*channel*) WiFi. Tujuan dari penghitungan data pada tabel ini yaitu sebagai standar pembandingan hasil yang akan diperoleh pada saat uji coba perangkat. Langkah-langkah pembuatan tabel data tersebut yaitu sebagai berikut:

1. Diawali dengan persamaan 5 yang merupakan gambaran kondisi pada saat *client* diharapkan menerima dengan tingkat sinyal yang maksimal, diasumsikan sebagai  $ISL_{Optimal}$  :

$$ISL_{Optimal} = EIRP - FSL \tag{5}$$

2. Kemudian persamaan 5 tersebut disederhanakan kembali dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 menjadi sebuah persamaan 6 :

$$ISL_{Optimal} = P_T - L_{C,T} + G_{A,T} - 32,44 - 20 \log D - 20 \log f \tag{6}$$

3. Dari persamaan 6, dikeluarkan nilai  $-20 \log D$  untuk memperoleh nilai D melalui jalur penyederhanaan (persamaan 7, 8, 9) :

$$-20 \log D = ISL_{Optimal} - P_T + L_{C,T} - G_{A,T} + 32,44 + 20 \log f \tag{7}$$

$$\log D = \frac{1}{-20} (ISL_{Optimal} - P_T + L_{C,T} - G_{A,T} + 32,44 + 20 \log f) \tag{8}$$

$$D = 10^z \tag{9}$$

dengan nilai z :

$$z = \frac{1}{-20} (ISL_{Optimal} - P_T + L_{C,T} - G_{A,T} + 32,44 + 20 \log f) \tag{10}$$

Berdasarkan persamaan 9, maka dapat diperoleh Jarak maksimal yang ditentukan dari beberapa faktor berikut:

1.  $ISL_{Optimal}$  yang sudah ditentukan berdasarkan studi beberapa jenis produk nirkabel untuk penggunaan umum yaitu:

Tabel 1. ISL<sub>Optimal</sub> berdasarkan data perangkat nirkabel 802.11b/g/n

Reception Sensitivity ISL (dBm)	Bandwidth (Rata-rata)
-62	270 Mbits (@ 10% PER)* 802.11n
-65	130/270*/300* Mbits (@ 10% PER)
-68	54/108/130/270* Mbits (@ 10% PER)
-72	54 Mbits (@10% PER)
-85	11 Mbits (@8% PER)
-87	6 Mbits (@10% PER)
-88	6 Mbits (@10% PER)
-90	1 Mbits (@8% PER)
-93	1 Mbits (@8% PER)

- $P_T$  atau daya yang dihasilkan oleh perangkat pemancar dalam bentuk gelombang radio dengan rentang nilai antara 0 hingga 50dBm (setara dengan 1 hingga 100.000 Watt).
- $L_{CT}$  atau asumsi rugi-rugi kabel dan konektor hingga hambatan ruang terbuka saat sinyal merambat bebas diudara.

Tabel 2. Jenis-jenis hambatan

Jenis Hambatan	Besar Jumlah Kerugian (Asumsi)
Bangunan (Dinding)	10 - 20 dB Tergantung konstruksi
Tanaman/Pepohonan Rimbun	10 - 15 dB
Hujan	2 dB
Kabel antena pada sisi pemancar	0,2 - 2 dB per Meter
Konektor standar antena	0,3 dB

- $G_{A,T}$  atau besar nilai penguatan *isotropis* pada antena terhadap sinyal saat meradiasikannya. Nilai yang digunakan yaitu 3, 5, 10, dan 15dBi.
- $f$  atau Frekuensi yang digunakan perangkat radio, digunakan nilai pasti pada setiap kanal yang sedang diukur jaraknya yaitu:

Tabel 3. Frekuensi kerja pada kanal 2,4GHz

WiFi 2,4Ghz	Frekuensi Kerja (MHz)	WiFi 2,4Ghz	Frekuensi Kerja (MHz)
kanal 1	2412	kanal 8	2447
kanal 2	2417	kanal 9	2452
kanal 3	2422	kanal 10	2457
kanal 4	2427	kanal 11	2462
kanal 5	2432	kanal 12	2467
kanal 6	2437	kanal 13	2472
kanal 7	2442	kanal 14	2482

Kemudian persamaan 9 tersebut ditransisikan ke dalam sebuah fungsi perhitungan dalam *worksheet* menjadi:

$$=10^{((\$E6-\$A6+\$D6-\$C6+32,44+(20*\text{LOG}(F\$5)))/-20)}$$

dimana kondisi tabelnya adalah sebagai berikut :

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following content:

- Formula bar:  $=10^{((\$E6-\$A6+\$D6-\$C6+32,44+(20*\text{LOG}(F\$5)))/-20)}$
- Table Title: **Perbandingan Jarak/Distance terhadap perubahan Power Tra**
- Table Headers:
  - Row 3: Power Transmit (Base Station), Antenna Gain (BS),  $\Sigma$  Loss (asumsi), ISL Optimum (Client), and Jarak/Distance (Km) antara Ba
  - Row 4: dBm, mWatt, dBi, dB, dBm, kanal 1, kanal 2, kanal 3, kanal 4, ka
- Table Data:
  - Row 5: 10, 10,00, 5, 40, -93, =10^((\\$E6-), 0,0248, 0,0248, 0,0247, 0,02
  - Row 6: 10, 10,00, 5, 40, -90, 0,0176, 0,0176, 0,0175, 0,0175, 0,01

Gambar 2. Contoh pembuatan tabel nilai persamaan

Seluruh fungsi persamaan yang telah diuraikan pada bagian teknik analisa data sebelumnya, yaitu persamaan 1 sampai 4 tersebut akan dikombinasikan untuk membentuk satu fungsi yang dapat digunakan untuk mencari jarak maksimal dari setiap kanal (channel) WiFi. Tujuan dari penghitungan data pada tabel ini yaitu sebagai standar pembandingan hasil yang akan diperoleh pada saat uji coba perangkat.

Tabel 4. Nilai rata-rata - power transmit ideal 20dBm

Jarak meter	Pwr. Transmit dBm	$\Sigma$ Loss (-) dBm	Kanal 6 pada 2,4 Ghz mHz	RSL pada Gain Antenna (dBm)				Rata-Rata RSL
				3	5	10	15	
12	20	40	2437	-78,7607	-76,7607	-71,7607	-66,7607	-73,5107
18	20	40	2437	-82,2826	-80,2826	-75,2826	-70,2826	-77,0326
24	20	40	2437	-84,7813	-82,7813	-77,7813	-72,7813	-79,5313
30	20	40	2437	-86,7195	-84,7195	-79,7195	-74,7195	-81,4695
36	20	40	2437	-88,3032	-86,3032	-81,3032	-76,3032	-83,0532
42	20	40	2437	-89,6421	-87,6421	-82,6421	-77,6421	-84,3921
48	20	40	2437	-90,8019	-88,8019	-83,8019	-78,8019	-85,5519
54	20	40	2437	-91,825	-89,825	-84,825	-79,825	-86,575
60	20	40	2437	-92,7401	-90,7401	-85,7401	-80,7401	-87,4901
66	20	40	2437	-93,568	-91,568	-86,568	-81,568	-88,318
72	20	40	2437	-94,3238	-92,3238	-87,3238	-82,3238	-89,0738
78	20	40	2437	-95,019	-93,019	-88,019	-83,019	-89,769
84	20	40	2437	-95,6627	-93,6627	-88,6627	-83,6627	-90,4127
90	20	40	2437	-96,262	-94,262	-89,262	-84,262	-91,012
96	20	40	2437	-96,8225	-94,8225	-89,8225	-84,8225	-91,5725
102	20	40	2437	-97,3491	-95,3491	-90,3491	-85,3491	-92,0991
108	20	40	2437	-97,8456	-95,8456	-90,8456	-85,8456	-92,5956
114	20	40	2437	-98,3152	-96,3152	-91,3152	-86,3152	-93,0652

Tabel 5. Nilai rata-rata - power transmit ideal 33dBm

Jarak meter	Pwr. Transmit dBm	$\Sigma$ Loss (-) dBm	Kanal 1 pada 2,4 Ghz mHz	RSL pada Gain Antenna (dBm)				Rata-Rata RSL
				3	5	10	15	
12	33	40	2412	-65,6712	-63,6712	-58,6712	-53,6712	-60,4212
18	33	40	2412	-69,193	-67,193	-62,193	-57,193	-63,943
24	33	40	2412	-71,6918	-69,6918	-64,6918	-59,6918	-66,4418
30	33	40	2412	-73,63	-71,63	-66,63	-61,63	-68,38
36	33	40	2412	-75,2136	-73,2136	-68,2136	-63,2136	-69,9636
42	33	40	2412	-76,5525	-74,5525	-69,5525	-64,5525	-71,3025
48	33	40	2412	-77,7124	-75,7124	-70,7124	-65,7124	-72,4624
54	33	40	2412	-78,7354	-76,7354	-71,7354	-66,7354	-73,4854
60	33	40	2412	-79,6506	-77,6506	-72,6506	-67,6506	-74,4006
66	33	40	2412	-80,4784	-78,4784	-73,4784	-68,4784	-75,2284
72	33	40	2412	-81,2342	-79,2342	-74,2342	-69,2342	-75,9842
78	33	40	2412	-81,9294	-79,9294	-74,9294	-69,9294	-76,6794
84	33	40	2412	-82,5731	-80,5731	-75,5731	-70,5731	-77,3231
90	33	40	2412	-83,1724	-81,1724	-76,1724	-71,1724	-77,9224
96	33	40	2412	-83,733	-81,733	-76,733	-71,733	-78,483
102	33	40	2412	-84,2595	-82,2595	-77,2595	-72,2595	-79,0095
108	33	40	2412	-84,756	-82,756	-77,756	-72,756	-79,506
114	33	40	2412	-85,2256	-83,2256	-78,2256	-73,2256	-79,9756

Tabel 6. Nilai rata-rata - power transmit ideal 50dBm

Jarak meter	Pwr. Transmit dBm	$\Sigma$ Loss (-) dBm	Kanal 1 pada 2,4 Ghz mHz	RSL pada Gain Antenna (dBm)				Rata-Rata RSL
				3	5	10	15	
12	50	40	2412	-48,6712	-46,6712	-41,6712	-36,6712	-43,4212
18	50	40	2412	-52,193	-50,193	-45,193	-40,193	-46,943
24	50	40	2412	-54,6918	-52,6918	-47,6918	-42,6918	-49,4418
30	50	40	2412	-56,63	-54,63	-49,63	-44,63	-51,38
36	50	40	2412	-58,2136	-56,2136	-51,2136	-46,2136	-52,9636
42	50	40	2412	-59,5525	-57,5525	-52,5525	-47,5525	-54,3025
48	50	40	2412	-60,7124	-58,7124	-53,7124	-48,7124	-55,4624
54	50	40	2412	-61,7354	-59,7354	-54,7354	-49,7354	-56,4854
60	50	40	2412	-62,6506	-60,6506	-55,6506	-50,6506	-57,4006
66	50	40	2412	-63,4784	-61,4784	-56,4784	-51,4784	-58,2284
72	50	40	2412	-64,2342	-62,2342	-57,2342	-52,2342	-58,9842
78	50	40	2412	-64,9294	-62,9294	-57,9294	-52,9294	-59,6794
84	50	40	2412	-65,5731	-63,5731	-58,5731	-53,5731	-60,3231
90	50	40	2412	-66,1724	-64,1724	-59,1724	-54,1724	-60,9224
96	50	40	2412	-66,733	-64,733	-59,733	-54,733	-61,483
102	50	40	2412	-67,2595	-65,2595	-60,2595	-55,2595	-62,0095
108	50	40	2412	-67,756	-65,756	-60,756	-55,756	-62,506
114	50	40	2412	-68,2256	-66,2256	-61,2256	-56,2256	-62,9756

### Kesimpulan

Berdasarkan serangkaian uji coba dan analisa yang dilakukan pada penelitian serta hasil yang telah diperoleh maka dapat disimpulkan antara lain:

1. Rekayasa media akses jaringan menggunakan usb wireless dongle ini menghasilkan kualitas sambungan sinyal yang lebih baik dibandingkan perangkat wireless controller onboard yang terdapat pada router yang menyebabkan area jangkauan sinyal perangkat dapat menjadi lebih luas yaitu sebesar 6,79% hingga 20,63%.
2. Sedangkan masing-masing perangkat uji yang digunakan memiliki hasil rata-rata yang setara dengan nilai standar teoritis (ideal), yaitu power transmit 33dBm untuk perangkat usb wireless dongle dan power transmit 20dBm untuk perangkat wireless controller onboard router dengan nilai masing-masing berkisar antara (-)5,76% sampai 11,87% dan (-)5,27% sampai 15,32%. Pemberian tanda negatif dimaksudkan untuk menandakan nilai perbandingan ideal yang lebih kuat daripada nilai yang diperoleh perangkat uji pada saat pengujian berlangsung

### Daftar Pustaka

- Cisco (2007), Antenna Patterns and Their Meaning 1–17
- Djaelani, E. (2010), Menentukan Panjang Jangkauan Perangkat Jammer dengan Pendekatan Equivalent Isotropically Radiated Power (EIRP). *J. INKOM III*, 22–30
- Frenzel, L. (2010), Power Amplifiers Crank Up Mobile Device Performance [WWW Document]. URL <http://mobiledevdesign.com/learning-resources/power-amplifiers-crank-mobile-device-performance> (diakses pada 10.5.13)
- Gast, M. (2005), 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide. O'Reilly
- Hayri (2005), Mengenal Broadband Lebih Jauh. PC Media - Pinpoint Publ. 76–79
- Heereman, F., Joseph, W., Tanghe, E. (2012), Path loss model and prediction of range, power and throughput for 802.11 n in large conference rooms. *Int. J. Electron. Commun.* 1–17
- Irianto, A., Savitri, B., Soerowirdjo, B. (2008), Perancangan Antena Helix untuk Frekuensi 2, 4 GHz 380–387
- Kadu, V., Gulhane, V. (2011), An Overview of Wi-Fi booster antenna. *ijaest.iserp.org* 47–51
- OpenWrt (2013), TP-Link TL-MR3420, TL-MR3220, TL-WR841ND v7 & TL-WR842ND - OpenWrt Wiki [WWW Document]. URL <http://wiki.openwrt.org/toh/tp-link/tl-mr3420> (diakses pada 10.5.13)

Proxim (2013), Proxim Wireless - Calculations: Antenna Downtilt [WWW Document]. URL <http://www.proxim.com/products/knowledge-center/calculations/calculations-antenna-downtilt> (accessed 10.2.13)

Purbo, O., Tanuhandaru, P., Noertam, P., Djajadikara, M. (2007), Jaringan Wireless Di Dunia Berkembang. Andi Yogyakarta 425

Ratih, H., Hani'ah, M., Ari, W. (2011), Perhitungan Link Budget Pada Komunikasi GSM di Daerah Urban Cluster Central Business Distric (CBD), Residences, dan Perkantoran. EEPIS Final Proj. 1–7