

## Makalah Seminar Tugas Akhir

### PERANCANGAN DAN ANALISIS ANTENA JARINGAN AREA LOKAL NIRKABEL 2,4 GHz

Adi Nugroho Dewantoro<sup>[1]</sup>, Imam Santoso S.T., M.T.<sup>[2]</sup>, Ajub Ajulian S.T., M.T.<sup>[2]</sup>

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl.Prof.Soedharto, SH, Tembalang, Semarang 50275

Email : [adi\\_nd@yahoo.com](mailto:adi_nd@yahoo.com)

#### ABSTRAK

Dewasa ini teknologi komunikasi telah mengalami perkembangan yang pesat. Salah satunya adalah komunikasi antar komputer. Dengan teknologi nirkabel, komputer dapat terhubung satu sama lain tanpa menggunakan media fisis. Jaringan area lokal nirkabel dengan frekuensi 2,4 GHz (IEEE 802.11 b/g) adalah salah satu teknologi yang digunakan untuk menghubungkan beberapa komputer melalui media udara. Teknologi ini dirancang untuk penggunaan dalam ruangan dengan jangkauan terbatas. Untuk meningkatkan jangkauan diperlukan sebuah antena eksternal sebagai pengganti antena perangkat WLAN.

Pada tugas akhir ini diadakan perancangan dan pengukuran sebuah sistem antena yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz berupa dipole dengan penggunaan reflektor berbentuk parabola. Parameter-parameter yang diukur antara lain pola daya, HPBW, gain, beam area, direktivitas, efisiensi antena, celah efektif, efisiensi celah, dan front to back ratio.

Berdasarkan hasil pengujian dan perbandingan dengan antena bawaan perangkat WLAN pada berbagai jarak yang berbeda, antena mampu meningkatkan daya yang diterima oleh perangkat WLAN. Hasil dari pengukuran diperoleh gain antena sebesar 18 dBi dengan lebar berkas setengah daya sebesar 15°.

Kata kunci: Antena, gain, loss, daya, lobe

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi, beberapa komputer dapat terhubung satu sama lain dalam suatu jaringan. Berdasarkan media transmisinya, suatu jaringan komputer dapat dihubungkan melalui media fisis dan media non-fisis. Media fisis dalam hal ini adalah kabel dan serat optik sedangkan media non-fisiknya adalah udara atau biasa disebut dengan teknologi nirkabel. Dari segi kualitas pengiriman data dan keandalan koneksi, media fisis merupakan pilihan yang tepat sebagai penghubung antar komputer. Namun dari segi kemudahan pembangunan infrastruktur dan biaya, teknologi nirkabel memiliki kelebihan.

Salah satu teknologi untuk menghubungkan jaringan komputer dengan media udara adalah WLAN (*wireless local area network*) atau jaringan area lokal nirkabel. WLAN adalah jaringan data untuk menghubungkan 2 lokasi yang berjauhan.

Komunikasi data pada jaringan nirkabel dengan menggunakan frekuensi 2,4 GHz memiliki kelebihan *bandwidth* yang lebar tetapi terkendala oleh jangkauan yang dekat dalam memancarkan dan menerima sinyal, sehingga penggunaan teknologi ini untuk jarak jauh tidak efisien dikarenakan standar IEEE 802.11 b/g dirancang untuk penggunaan dalam ruangan (*indoor*) dengan jarak maksimum sekitar 100 meter. Untuk penggunaan di luar ruangan (*outdoor*), dibutuhkan antena eksternal untuk memperkuat sinyal.

### 1.2 Tujuan

Tujuan utama dari tugas akhir ini adalah merancang suatu sistem antena yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz serta menentukan dan menganalisis parameter-parameter antena tersebut.

### 1.3 Pembatasan Masalah

Pada tugas akhir ini dibatasi pada masalah - masalah sebagai berikut :

1. Perancangan antena berdasarkan frekuensi 2437 MHz.
2. Antena dirancang untuk peralatan WLAN yang memiliki konektor RPSMA *female*.
3. Penentuan parameter antena meliputi pola daya, HPBW, *gain*, *beam area*, direktivitas, efisiensi antena, celah efektif, efisiensi celah, dan *front to back ratio*.
4. Tidak menentukan nilai SWR dan impedansi masukan karena keterbatasan alat ukur.
5. Pengukuran antena dilakukan di ruang terbuka bukan di ruangan tanpa gema (*anechoic chamber*).
6. Pengukuran menggunakan perangkat WLAN berupa *access point* dan USB WLAN *adapter*.
7. Pengukuran dan pengujian tidak dilakukan di dalam ruangan (*indoor*), melainkan di luar ruangan (*outdoor*).
8. Pengujian dilakukan dalam kondisi visual *line of sight*.
9. Tidak membahas secara detail mengenai IEEE 802.11b/g.

[1] Mahasiswa Teknik Elektro Undip

[2] Dosen Teknik Elektro Undip

10. Tidak melakukan pengujian terhadap koneksi internet dan laju data pada WLAN.

## II. Dasar Teori

### 2.1 Jaringan Area Lokal Nirkabel (*Wireless Local Area Network / WLAN*)

*Wireless Local Area Network* adalah jaringan data untuk menghubungkan komputer pada lokasi yang berjauhan. Jaringan ini dapat digunakan untuk trafik data antara komputer, kamera pengawas maupun internet dimana transmisi data dilakukan melalui teknologi frekuensi gelombang mikro lewat udara. WLAN menyediakan sebagian besar keuntungan dari LAN namun tidak dibatasi media kabel atau kawat. Salah satu frekuensi yang digunakan dalam WLAN adalah frekuensi gelombang mikro 2,4 GHz yang distandarisasi melalui protokol IEEE 802.11 b/g. IEEE 802.11 b/g menggunakan frekuensi 2.4 GHz 14 kanal frekuensi.

Tabel 1 Alokasi Kanal IEEE 802.11 b/g [24]

802.11b / g			
Channel #	Center Frequency (GHz)	Channel #	Center Frequency (GHz)
1	2.412	8	2.447
2	2.417	9	2.452
3	2.422	10	2.457
4	2.427	11	2.462
5	2.432	12	2.467
6	2.437	13	2.472
7	2.442	14	2.484

### 2.2 Saluran Transmisi [4], [7], [24]

Pemancar (*Transmitter / Tx*) menghasilkan daya RF (*radio frequency*) untuk dikirimkan ke antena. Untuk menghasilkan radiasi secara efektif, antena harus diletakkan dengan tinggi secukupnya dari tanah, dan tidak terhalang pohon, bangunan, atau objek yang dapat menyerap energi RF. Tx pada umumnya diletakkan dalam ruangan untuk melindungi dari cuaca dan air. Jalur penghubung antara Tx dan antena disebut dengan saluran transmisi. Saluran transmisi berfungsi untuk membawa daya RF dari satu tempat ke tempat lain seefisien mungkin (dengan *loss* sekecil mungkin). Pada sisi penerima (*Receiver / Rx*), saluran transmisi berperan dalam penyaluran daya RF dari antena ke Rx.

#### 2.2.1 Kabel Koaksial

Kabel koaksial (*coax*) merupakan jenis saluran transmisi yang dapat membawa daya RF pada frekuensi 2,4 GHz. *Coax* terdiri dua penghantar yang disebut inti (*core*) dan pelindung (*shield*). *Core* terletak di tengah kabel, dikelilingi oleh *shield*. Dua penghantar tersebut didisolasi secara elektrik oleh sebuah media yang disebut dielektrik.

Kabel koaksial dibentuk oleh material berikut:

- *Core* : penghantar bagian dalam
- Dielektrik : bahan non konduktif yang mengelilingi *core*

- *Shield* : lapisan penghantar luar yang mengelilingi dielektrik
- *Jacket* : bahan non konduktif sebagai pelindung luar kabel.



Gambar 1 Kabel Koaksial [4]

#### 2.2.2 RG 58 [20]

RG 58 merupakan salah satu tipe kabel koaksial yang digunakan untuk membawa daya RF rendah. Kabel ini memiliki impedansi karakteristik 50 ohm. Kebanyakan antena dan peralatan WLAN didesain untuk bekerja pada kabel dengan impedansi karakteristik 50 ohm. Istilah RG berasal dari terminologi militer AS yang merupakan singkatan dari *radio grade*. RG 58 memiliki pelemahan 1,4 dB/m pada frekuensi sekitar 2,4 GHz.



Gambar 2 Kabel Koaksial RG 58 [12]

#### 2.2.3 Konektor Gelombang Mikro

Konektor digunakan sebagai penghubung kabel koaksial dengan antena dan perangkat radio. Penggunaan konektor bergantung pada jenis kabel dan frekuensi yang digunakan. Pada frekuensi 2,4 GHz konektor jenis N dan SMA sering dipakai. Konektor tersebut memiliki pelemahan yang kecil pada frekuensi tersebut.

##### 2.2.3.1 Konektor Tipe N [9], [18]

Konektor tipe N dikembangkan pertama kali pada perang dunia kedua untuk komunikasi militer. Konektor ini merupakan salah satu konektor pertama yang sanggup membawa gelombang mikro tanpa pelemahan yang besar. Nama konektor berasal dari singkatan nama belakang penemunya, Paul Neill, seorang teknisi RF di laboratorium Bell. Konektor ini ditemukan pada tahun 1940.

Konektor N memiliki impedansi 50 ohm dan 75 ohm. Konektor berimpedansi 75 ohm banyak digunakan pada infrastruktur TV kabel sedangkan versi 50 ohm sering digunakan pada infrastruktur komunikasi data nirkabel. Terdapat 2 jenis konektor tipe N yaitu tipe N *male* dan tipe N *female*. Konektor tipe N dapat dilalui frekuensi sampai 18 GHz. Konektor N *male* banyak digunakan sebagai konektor antena pada WLAN.



Gambar 3 Konektor N Male <sup>[18]</sup>



Gambar 4 Konektor N Female <sup>[16]</sup>

### 2.2.3.2 Konektor SMA <sup>[9], [21], [22]</sup>

Konektor SMA (*SubMiniature version A*) dikembangkan pertama kali pada tahun 1960. Konektor SMA memiliki impedansi 50 ohm, dapat dilalui frekuensi sampai dengan 25 GHz. Konektor SMA dibagi menjadi 2 jenis yaitu *male* dan *female*. Terdapat varian lain konektor SMA yaitu RPSMA (*reverse polarity SMA*). SMA *male* memiliki pin pada bagian tengah sedangkan SMA *female* memiliki lubang pada tengah konektor. Pada RPSMA, jenis *male* memiliki lubang dan jenis *female* memiliki pin pada bagian tengah konektor. RPSMA *female* sering digunakan pada peralatan WLAN untuk dihubungkan pada antenna eksternal.



Gambar 5 Konektor SMA <sup>[22]</sup>



Gambar 6 Konektor RPSMA Male <sup>[22]</sup>

## 2.3 Antena <sup>[2], [4], [7]</sup>

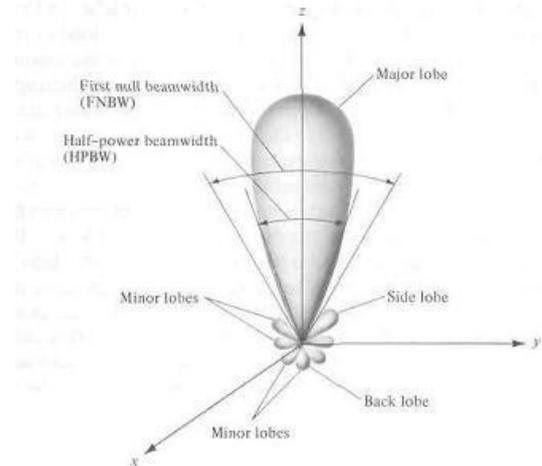
Antena berperan sebagai transisi antara gelombang terbimbing (saluran transmisi) dan gelombang ruang bebas atau sebaliknya. Antena adalah piranti *reciprocal* yang berarti antena memiliki karakteristik yang sama pada saat berfungsi sebagai pemancar maupun penerima.

### 2.3.1 Parameter Dasar Antena

#### Pola Daya (*Power Pattern*)/Pola Radiasi

Pola daya menggambarkan kekuatan relatif daya gelombang elektromagnet yang dipancarkan/diterima dari berbagai arah pada jarak yang sama dari antena. Pola daya berbentuk 3 dimensi, biasanya dinyatakan dalam irisan 2 dimensi yaitu bidang medan magnet (*H plane*) dan bidang medan listrik (*E plane*). Pola daya terdiri dari *major/main lobe*, *side lobe*, dan *back lobe*. *Side lobe* dan

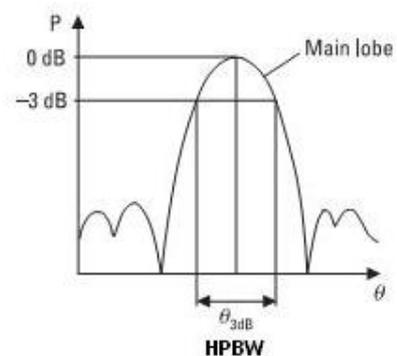
*back lobe* terkadang disebut *minor lobe*. *Main lobe* merupakan daerah pancaran radiasi terbesar antena, *side lobe* adalah daerah pancaran samping, dan *back lobe* adalah daerah pancaran belakang dari antena. *Minor lobe* menggambarkan radiasi pada arah yang tidak diinginkan.



Gambar 7 Lobe pada antena <sup>[2]</sup>

#### Half Power Beamwidth (HPBW)

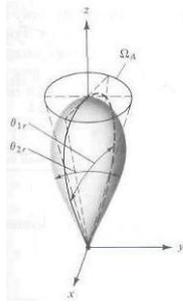
HPBW adalah sudut antara 2 titik pada *main lobe* dimana daya turun menjadi setengah dari daya maksimum. Setengah daya bila dinyatakan dalam dB adalah -3 dB, sehingga HPBW sering disebut -3 dB *beamwidth*. Bidang E dan bidang H pola radiasi antena biasanya mempunyai HPBW yang tidak sama. HPBW merupakan parameter penting suatu antena. Pemasangan antena direksional harus diarahkan sedemikian rupa ke arah tujuan dengan sudut tidak boleh bergeser mendekati nilai dari HPBW. Pergeseran dengan sudut lebih besar mengakibatkan daya yang dipancarkan/diterima turun lebih dari setengah daya maksimum.



Gambar 8 HPBW <sup>[2], [5]</sup>

#### Beam Area

*Beam area* adalah sudut ruang yang dibentuk oleh berkas pola daya antena.



Gambar 9 Beam Area [2]

Beam Area dapat dinyatakan dengan pendekatan [3]:

$$\Omega_A \cong \theta_{HP}^2 \phi_{HP}^2 \quad (1)$$

Dengan:

$\Omega_A$  = beam area (derajat kuadrat (°))

$\theta_{HP}$  = HPBW bidang H (derajat)

$\phi_{HP}$  = HPBW bidang E (derajat)

1 sr = 3282,8064 derajat kuadrat (°)

### Direktivitas

Direktivitas adalah perbandingan intensitas daya yang dipancarkan antenna pada arah tertentu (arah *main lobe*) dengan intensitas daya yang dipancarkan ke segala arah oleh antenna tersebut apabila bertindak sebagai sumber isotropis. Sumber isotropis merupakan sumber ideal yang meradiasikan daya ke segala arah dengan besar yang sama.

Direktivitas dapat ditentukan dengan pendekatan matematis [3]:

$$D \cong \frac{40000^\circ}{\theta_{HP}^2 \phi_{HP}^2} \quad (2)$$

$$D_{dBi} = 10 \log_{10} D \quad (3)$$

Dengan:

D = Direktivitas (tanpa dimensi)

$\theta_{HP}^2$  = HPBW bidang H (derajat)

$\phi_{HP}^2$  = HPBW bidang E (derajat)

$D_{dBi}$  = Direktivitas relatif terhadap sumber isotropis (dBi)

### Gain dan Efisiensi

Gain merupakan parameter penting yang menggambarkan performa suatu antenna. Gain adalah perbandingan daya yang dipancarkan/diterima antenna terhadap daya yang dipancarkan/diterima antenna referensi pada arah yang sama. Antena isotropis biasanya digunakan sebagai referensi.

Antena ideal tanpa rugi-rugi mempunyai gain yang sama dengan Direktivitas. Pada kenyataannya tidak ada antenna yang ideal, tidak semua daya diradiasikan secara sempurna oleh antenna, sehingga gain antenna selalu lebih kecil dari direktivitas. Perbandingan gain terhadap direktivitas antenna disebut efisiensi antenna, dirumuskan [5]:

$$\eta = \frac{G}{D} \quad (4)$$

### Effective Aperture Antenna / Area Efektif Antena

Konsep area atau celah efektif /  $A_e$  berkaitan dengan luas efektif bidang antenna yang menerima daya gelombang elektromagnet. Misalkan pada sebuah antenna *horn*, daya yang diserap oleh antenna adalah [5]:

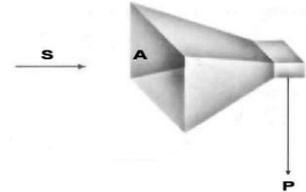
$$P = S \cdot A \quad (5)$$

Dengan:

P = daya yang diterima (W)

S = intensitas daya ( $W/m^2$ )

A = luas/aperture efektif antenna ( $m^2$ )



Gambar 10 Konsep Aperture [2]

Semakin luas area efektif antenna, semakin besar daya yang dapat diterima. Luas area efektif antenna dapat dinyatakan dengan persamaan [5]:

$$A_e = \frac{G \lambda^2}{4\pi} \quad (6)$$

Dengan:

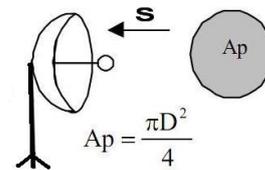
$A_e$  = luas area efektif ( $m^2$ )

G = gain antenna (tanpa dimensi)

$\lambda$  = panjang gelombang radio (m)

### Efisiensi Area/Celah

Luas area efektif selalu lebih kecil dari luas fisis antenna. Hal ini berhubungan dengan hilangnya energi gelombang elektromagnet sebagai panas atau terpantul kembali ke ruang bebas oleh sebagian luas fisis antenna. Celah/luas fisis antenna adalah luas maksimum permukaan antenna dilihat dari arah datangnya intensitas daya.



Gambar 11 Aperture fisis Sebuah Antena Parabola [1]

Perbandingan luas area efektif antenna terhadap luas fisis antenna disebut efisiensi celah. Efisiensi celah menyatakan seberapa efisien luas fisis antenna dalam menerima/memancarkan intensitas daya. Efisiensi celah dinyatakan dengan [3]:

$$\epsilon_{ap} = \frac{A_e}{A_p} \quad (7)$$

Dengan:

$\epsilon_{ap}$  = efisiensi celah (tanpa dimensi)

$A_e$  = luas area efektif ( $m^2$ )

$A_p$  = luas fisis antena ( $m^2$ )

**Front to Back Ratio** <sup>[19], [24]</sup>

*Front to back ratio* adalah perbandingan daya maksimum antena pada *main lobe* terhadap daya pada *back lobe*. Bila daya dinyatakan dalam dB, *front to back ratio* adalah selisih daya *main lobe* dengan *back lobe*.

$$\text{Front to Back Ratio} = \frac{P_{\text{main lobe}}}{P_{\text{back lobe}}} \quad (8)$$

Bila dinyatakan dalam dB:

$$FBR(dB) = P_{\text{main lobe}}(dBm) - P_{\text{back lobe}}(dBm) \quad (9)$$

### 2.3.2 Dasar Pengukuran Antena <sup>[1], [2]</sup>

**Pengukuran Pola Daya, HPBW, Front to Back Ratio**

Pengukuran pola daya membutuhkan RF generator dan Power meter (*spectrum analyzer*). RF generator berfungsi untuk membangkitkan gelombang radio pada frekuensi kerja antena. Power meter digunakan untuk membaca daya yang diterima dari antena pada jarak tertentu dari RF generator. Antena yang akan diukur/*antenna under test* (AUT), dihubungkan dengan power meter (*spectrum analyzer*) atau difungsikan sebagai penerima. AUT diarahkan pada RF generator pada berbagai sudut sehingga diperoleh pembacaan daya yang berbeda-beda. Untuk membentuk pola daya, hasil pengukuran daya pada berbagai sudut diplot pada diagram polar antena. Dari hasil pengukuran pola daya, dapat dicari nilai HPBW, direktivitas, dan *front to back ratio*.

**Pengukuran Gain**

Metode paling mudah dan sederhana untuk menentukan *gain* suatu antena adalah metode perbandingan *gain* (*gain comparison method*). Metode ini membutuhkan sebuah antena referensi dengan nilai *gain* diketahui. Prosedur ini memerlukan 2 kali pengukuran. Pertama antena referensi dihubungkan dengan power meter dan daya yang diterima pada jarak tertentu dari RF generator diukur dengan power meter. Kemudian antena referensi diganti dengan AUT pada jarak yang tetap dan didapatkan daya yang diterima dengan cara yang sama.

Misalkan daya hasil pengukuran antena referensi adalah  $P_1$  dan daya hasil pengukuran AUT adalah  $P_2$  maka <sup>[2]</sup>:

$$G_{AUT} = G_{ref} \frac{P_2}{P_1} \quad (10)$$

Bila dinyatakan dalam dB

$$G_{AUT}(dBi) = G_{ref}(dBi) + P_2(dB) - P_1(dB) \quad (11)$$

Dengan:

$G_{AUT}(dBi)$  = gain antena under test (dBi)

$G_{ref}(dBi)$  = gain antena referensi (dBi)

$P_2(dB)$  = daya hasil pengukuran antena under test (dBm)

$P_1(dB)$  = daya hasil pengukuran antena referensi (dBm)

**Pengukuran beam area**

Pengukuran *beam area* secara tepat sulit dilakukan karena membutuhkan pola daya 3 dimensi yang sulit untuk didapat. *Beam area* dapat diukur dengan pendekatan matematis pada persamaan (1)

**Pengukuran Direktivitas**

Pengukuran Direktivitas secara sederhana dapat dijelaskan sebagai berikut <sup>[2]</sup>:

1. Menentukan pola daya antena pada bidang E dan bidang H
2. Menentukan nilai HPBW bidang E dan bidang H
3. Menghitung nilai direktivitas menggunakan persamaan (2) dan (3)

**Pengukuran Efisiensi Antena, Aperture Effective, Efisiensi Aperture, dan front to back ratio**

Apabila *gain* dan direktivitas antena telah diketahui, efisiensi antena dapat dihitung menggunakan persamaan (4). *Aperture Effective*, Efisiensi *Aperture*, dan *front to back ratio* dapat ditentukan melalui persamaan (6), (7), (8), dan (9). Pola radiasi dibutuhkan dalam menentukan *front to back ratio*.

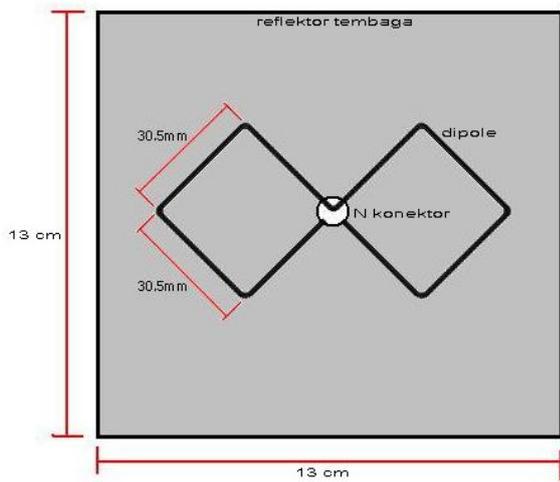
## III. PERANCANGAN DAN PENGUKURAN SISTEM ANTENA

### 3.1 Perancangan Antena

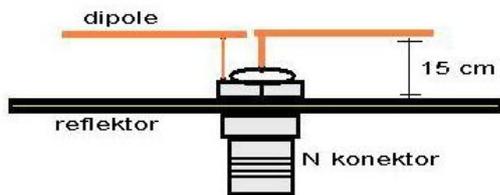
Perancangan sistem antena dalam tugas akhir ini meliputi *feed antenna*, reflektor parabola, dan saluran transmisi. *Feed antenna* merupakan transisi antara gelombang terbimbing (saluran transmisi) dan gelombang ruang bebas. Reflektor berfungsi mengarahkan gelombang elektromagnet ke arah tertentu dan membentuk berkas pancaran yang sempit. Saluran transmisi berperan sebagai penghubung antara *feed antenna* dengan perangkat radio.

**Feed antenna** <sup>[10], [23]</sup>

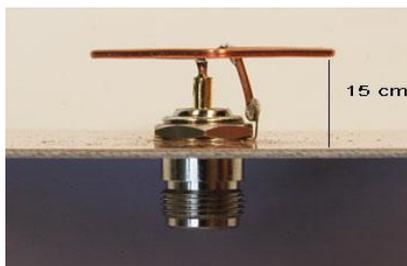
*Feed antenna* yang digunakan dalam tugas akhir ini menggunakan antena *biquad* yang dipopulerkan oleh Trevor Marshall (<http://www.trevormarshall.com>). Antena ini merupakan varian dari antena *dipole*. Antena ini menggunakan kawat tembaga yang dibentuk menyerupai 2 buah persegi sebagai elemen *dipole*. Diameter kawat yang digunakan adalah 1,3 mm dengan lempengan tembaga reflektor menggunakan PCB yang dibentuk persegi dengan panjang sisi 13 cm. Panjang sisi persegi *dipole* adalah seperempat dari panjang gelombang frekuensi tengah kanal ke 6 IEEE 802.11 b/g yaitu sekitar 30,5 mm. Konektor yang digunakan sebagai penghubung dengan saluran transmisi adalah konektor tipe N *female*. Konektor ini memiliki performa yang baik pada frekuensi 2,4 GHz dengan *loss* sekitar 0,3 sampai 0,5 dB. Jarak antar *dipole* dengan reflektor tembaga sekitar 15 cm.



Gambar 12 Skema dan Dimensi *Feed antenna*

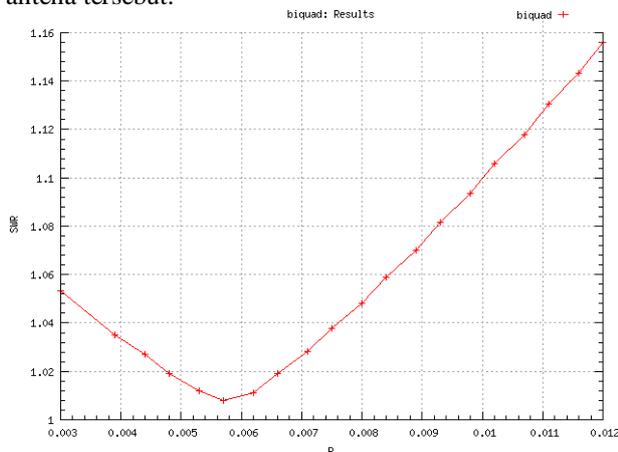


Gambar 13 Jarak *Dipole* dengan Relektor



Gambar 14 Pandangan Samping Bagian *Feed antenna*

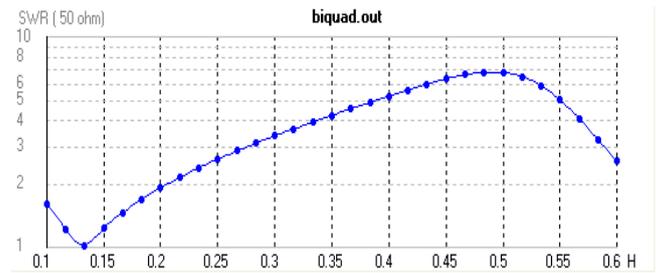
Spesifikasi antenna yang dibuat berdasarkan hasil simulasi pada situs <http://www.lecad.uni-lj.si/%7Eleon/other/wlan/biquad..> Simulasi dilakukan untuk mengetahui efek jari-jari kawat pembentuk *dipole* dan jarak *dipole* ke reflektor tembaga terhadap SWR antenna tersebut.



Gambar 15 Pengaruh jari-jari kawat terhadap SWR <sup>[10]</sup>

Gambar 15 adalah hasil simulasi <sup>[10]</sup> pengaruh jari-jari kawat pembentuk *dipole* terhadap SWR. Jari-jari kawat (R) dinyatakan dalam panjang gelombang ( $\lambda$ ). Dari gambar 15 diperoleh jari-jari kawat yang

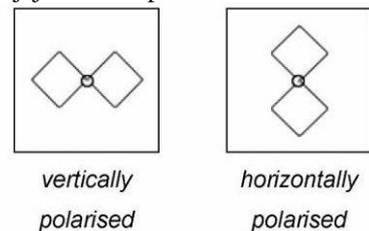
menghasilkan SWR terendah adalah sekitar  $0,0056 \lambda$  atau dengan diameter sekitar 1,3 mm pada frekuensi 2,4 GHz.



Gambar 16 Pengaruh Jarak *Dipole* ke Reflektor Terhadap SWR <sup>[10]</sup>

Gambar 16 adalah hasil simulasi <sup>[10]</sup> pengaruh jarak *dipole* ke reflektor terhadap nilai SWR. Gambar 16 menunjukkan untuk memperoleh SWR terendah, dibutuhkan jarak sekitar  $0,13 \lambda$  atau sekitar 15 mm.

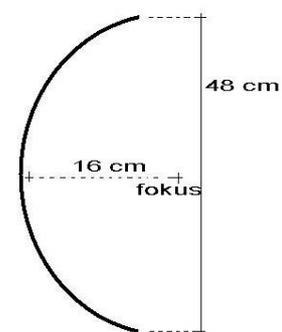
Antena *biquad* memiliki polarisasi vertikal dan horizontal tergantung posisi *dipole*. Polarisasi adalah orientasi bidang E yang dibangkitkan antenna. Antena dengan polarisasi vertikal akan membangkitkan bidang E tegak lurus terhadap tanah, sebaliknya antenna dengan polarisasi horizontal akan membangkitkan bidang E sejajar terhadap tanah.



Gambar 17 Polarisasi Antena *Biquad* <sup>[21]</sup>

### Reflektor Parabola

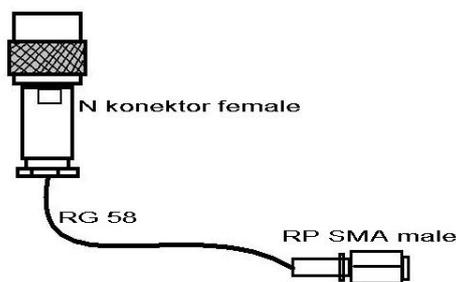
Reflektor parabola berfungsi memfokuskan gelombang elektromagnet pada *feed antenna* pada mode penerima. Pada mode pemancar reflektor berfungsi untuk membentuk berkas radiasi yang sempit sehingga *gain* meningkat. Reflektor yang digunakan terbuat dari aluminium dengan diameter (jarak tepi ke tepi) 48 cm dan jarak titik fokus 16 cm.



Gambar 18 Dimensi Reflektor Parabola

### Saluran Transmisi

Pembutan dan pengujian tugas akhir ini menggunakan kabel koaksial jenis RG 58 dengan konektor tipe N *male* dan RPSMA *male* pada kedua ujungnya.



Gambar 19 Saluran Transmisi

### 3.2 Pengukuran Parameter Antena Penentuan Pola Daya Antena

Pengukuran pola daya antena secara teliti membutuhkan peralatan yang mahal dan ruangan khusus (*anechoic chamber*). Ruang tempat pengukuran harus terbuat dari bahan yang menyerap gelombang elektromagnet sehingga tidak ada pantulan gelombang yang akan mengacaukan proses pengukuran.

Pola daya berbentuk 3 dimensi. Untuk menghasilkan pola 3 dimensi membutuhkan peralatan yang mahal, sehingga penggambaran pola daya pada umumnya berbentuk 2 dimensi pada bidang E dan H. Pengukuran pola daya membutuhkan sebuah RF generator dan *spectrum analyzer*. RF generator digunakan untuk menghasilkan gelombang elektromagnet pada frekuensi 2,4 GHz yang diarahkan pada antena yang akan diukur/*antenna under test* (AUT). *spectrum analyzer* berfungsi untuk mengukur daya yang diterima oleh AUT.

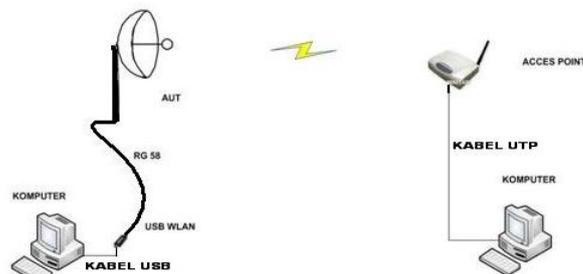
Perangkat WLAN dapat difungsikan sebagai RF generator dan *spectrum analyzer*. Pada pengujian ini digunakan sebuah *access point* Minitar MWGAR sebagai RF generator dengan daya di tetapkan pada 17 dBm. Frekuensi yang digunakan adalah kanal ke 6 IEEE 802.11 b/g yaitu 2437 MHz. Sebagai pengganti *spectrum analyzer*, digunakan sebuah perangkat WLAN client berupa WLAN USB adapter Minitar MWGUHA yang memiliki konektor untuk antena eksternal. Besarnya daya yang diterima WLAN USB adapter diukur dengan perangkat lunak *netstumbler* versi 0.4.0.

Pengukuran pola daya tidak dilakukan di ruang tanpa gema karena sangat sulit menemukan laboratorium dengan ruang pengukuran tanpa gema untuk antena di Indonesia. Untuk meminimalkan pantulan gelombang elektromagnet, pengukuran dilakukan di ruang terbuka.

Proses pengukuran menggunakan 2 buah komputer untuk sisi *access point* dan USB WLAN adapter. Pada sisi *access point*, komputer digunakan untuk men-setting parameter pada *access point* seperti besarnya daya pancar dan frekuensi yang digunakan. Kabel UTP digunakan sebagai penghubung *access point* dengan komputer. Pada sisi USB WLAN adapter, komputer digunakan untuk memperoleh nilai daya yang diterima oleh AUT. Besarnya nilai daya dapat dibaca melalui perangkat lunak *netstumbler*. Jarak pengukuran (AUT dengan *access point*) kurang lebih 40 m dengan ketinggian AUT dan *access point* sekitar 1,5 m dari permukaan tanah.

Untuk menentukan pola pada bidang H, bagian *feed antenna* dipasang dengan posisi polarisasi vertikal. AUT diarahkan sejajar dengan *access point* dengan sudut

elevasi  $0^\circ$ . AUT dihubungkan dengan WLAN USB adapter yang tersambung pada komputer melalui konektor antena eksternal pada WLAN USB tersebut. Saluran transmisi yang digunakan berupa kabel RG 58 sepanjang 2 meter. Skema pengukuran adalah sebagai berikut:



Gambar 20 Skema Pengukuran Pola Daya

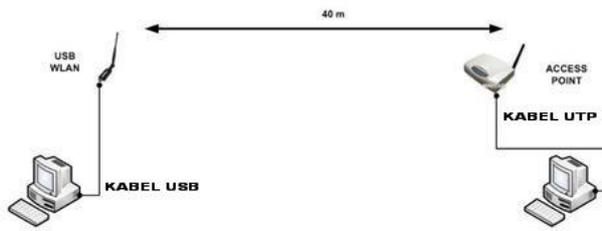
Tingkat daya tertinggi yang diterima AUT diperoleh ketika sudut azimuth AUT terhadap *access point* adalah  $0^\circ$ . Tingkat daya pada sudut yang lain diperoleh dengan cara merubah sudut azimuth AUT terhadap *access point* dengan menjaga nilai sudut elevasi tetap  $0^\circ$ . Pengukuran pada tugas akhir ini dilakukan dengan cara memutar AUT searah jarum jam dengan kelipatan sudut azimuth  $10^\circ$  sampai satu putaran penuh. Pola daya pada bidang E dapat diperoleh dengan cara yang sama dengan merubah posisi *feed antenna* sehingga memiliki polarisasi horizontal.

#### Pengukuran HPBW

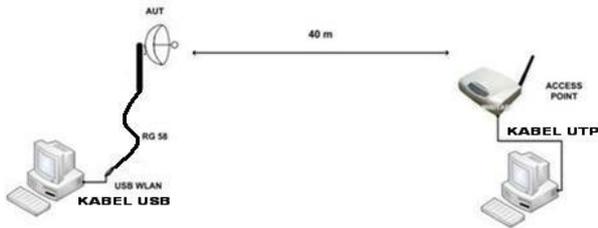
Besarnya nilai sudut HPBW dapat diperoleh dari pola daya antena pada kedua bidang. Nilai HPBW diperoleh dengan cara menghitung besar sudut yang diapit oleh 2 garis pada diagram polar yang menghubungkan titik pusat lingkaran dengan titik dimana daya bernilai -3dB.

#### Pengukuran Gain Antena

Pengukuran *gain* antena pada tugas akhir ini menggunakan metode perbandingan *gain* (*gain comparison method*). Metode ini membutuhkan sebuah antena referensi dengan nilai *gain* diketahui. Antena referensi yang digunakan adalah antena WLAN USB adapter dengan *gain* sebesar 5 dBi. Pada metode ini dilakukan 2 kali pengukuran. Pertama antena referensi dipasang pada USB WLAN adapter yang terhubung pada sebuah komputer. Pada jarak 40 meter dari antena ditempatkan sebuah *access point* sebagai RF generator. Besarnya daya yang ditangkap antena referensi ( $P_1$ ) diperoleh dari perangkat lunak *netstumbler*. Pada pengukuran kedua, antena referensi diganti dengan AUT dan dengan cara yang sama diperoleh besar daya yang ditangkap oleh AUT ( $P_2$ ). Dengan menggunakan persamaan (11) besar nilai *gain* AUT dapat diperoleh.



Gambar 21 Skema Pengukuran Pertama



Gambar 22 Skema Pengukuran Kedua

**Pengukuran *Beam Area*, *Direktivitas*, *Efisiensi Antena*, *Aperture Effective*, *Efisiensi Aperture*, dan *front to back ratio***

Pengukuran dengan cara matematis dapat dilakukan bila pola daya, nilai HPBW kedua bidang, dan nilai *gain* telah diketahui. Untuk sistem antena parabola nilai *Beam Area*, *Direktivitas*, *Efisiensi Antena*, *Aperture Effective*, *Efisiensi Aperture*, dan *front to back ratio* dapat diperoleh dengan persamaan (1), (2), (3), (4), (6), (7), dan (9).

**IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Pengukuran Parameter Antena  
Pengukuran Pola Daya**

Hasil pengukuran untuk pola daya antena pada bidang H dan E dapat dilihat pada tabel 2 dan Tabel 3. Dari tabel 2 dan 3 dapat diperoleh gambar pola daya antena pada diagram polar yaitu gambar 23 untuk bidang H dan gambar 24 untuk bidang E.

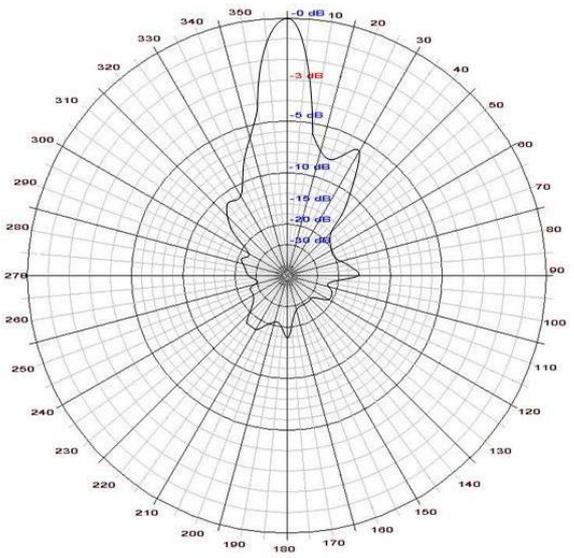
Tabel 2 Hasil Pengukuran Daya pada Bidang H

SUDUT (°)	DAYA (dBm)	NORM-ALISASI (dBm)	SUDUT (°)	DAYA (dBm)	NORM-ALISASI (dBm)
0	-52	0	180	-70	-18
10	-58	-6	190	-74	-22
20	-60	-8	200	-72	-20
30	-58	-6	210	-70	-18
40	-64	-12	220	-70	-18
50	-70	-18	230	-76	-24
60	-72	-20	240	-78	-26
70	-72	-20	250	-78	-26
80	-70	-18	260	-82	-30
90	-68	-16	270	-78	-26
100	-76	-24	280	-76	-24
110	-74	-22	290	-74	-22
120	-74	-22	300	-76	-24
130	-80	-28	310	-68	-16

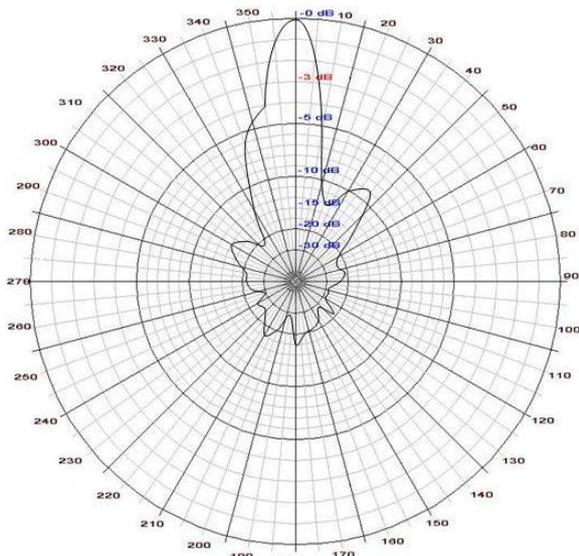
140	-80	-28	320	-64	-12
150	-80	-28	330	-64	-12
160	-80	-28	340	-60	-8
170	-78	-26	350	-56	-4

Tabel 3 Hasil Pengukuran Daya pada Bidang E

SUDUT (°)	DAYA (dBm)	NORM-ALISASI (dBm)	SUDUT (°)	DAYA (dBm)	NORM-ALISASI (dBm)
0	-52	0	180	-70	-18
10	-58	-6	190	-80	-28
20	-66	-14	200	-74	-22
30	-62	-10	210	-70	-18
40	-60	-8	220	-74	-22
50	-68	-16	230	-78	-26
60	-74	-22	240	-76	-24
70	-76	-24	250	-80	-28
80	-74	-22	260	-76	-24
90	-76	-24	270	-74	-22
100	-80	-28	280	-74	-22
110	-80	-28	290	-70	-18
120	-80	-28	300	-68	-16
130	-74	-22	310	-70	-18
140	-80	-28	320	-74	-22
150	-76	-24	330	-66	-14
160	-74	-22	340	-58	-6
170	-72	-20	350	-56	-4

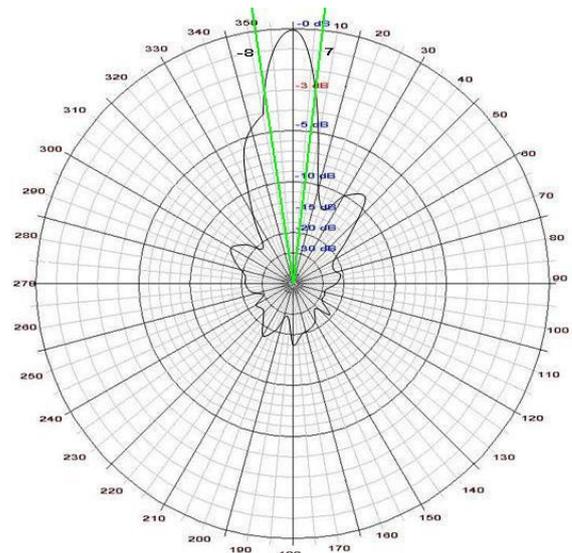


Gambar 23 Pola Daya Antena pada Bidang H



Gambar 24 Pola Daya Antena pada Bidang E

Pada gambar 23 dan 24 terlihat pola daya antena pada bidang H dan E. Hasil pengukuran pola daya menggambarkan bahwa antena yang dibuat dalam tugas akhir ini termasuk jenis antena direksional, dimana pada antena direksional daya yang diradiasikan atau diterima pada suatu arah lebih besar dibandingkan daya yang diradiasikan atau diterima pada arah yang lain. Antena pada tugas akhir ini meradiasikan sebagian besar daya ke arah depan (*main lobe*), dibanding pada arah lain (*minor lobe*). Pada bidang H dan E terdapat *side lobe* yang kecil dengan nilai terbesar -6 dB terhadap *main lobe*.



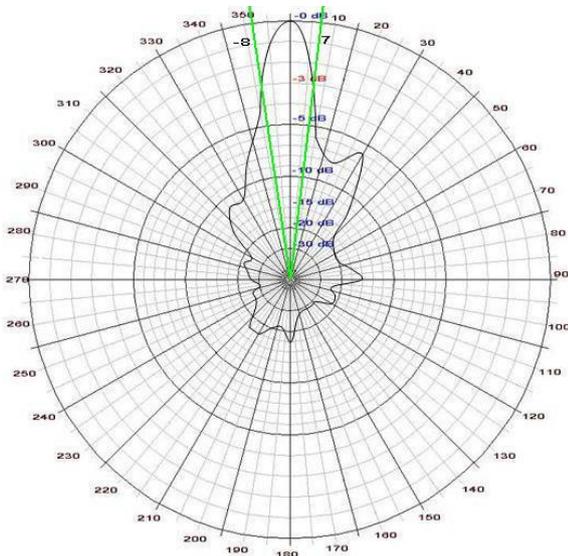
Gambar 26 HPBW Bidang E

### Half Power Beamwidth (HPBW)

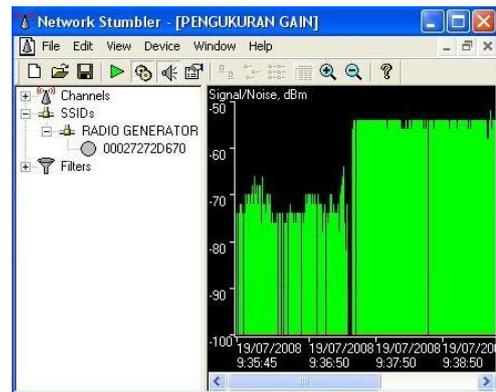
Gambar 25 dan 26 adalah hasil pengukuran nilai *half power beamwidth* pada bidang H dan E. Penurunan setengah daya pada kedua bidang terjadi pada sudut 7° dan -8°. Besarnya HPBW bidang H sama dengan besar HPBW bidang E yaitu 15°. Nilai HPBW berpengaruh terhadap posisi pemasangan antena. Agar antena dapat bekerja dengan baik, sudut elevasi dan azimuth antena harus dijaga agar tidak bergeser mendekati 15° atau lebih terhadap arah yang dituju. Pergeseran sudut akan mengakibatkan penurunan kemampuan antena dalam meradiasikan dan menerima daya gelombang radio.

### Gain Antena

Pengukuran *gain* antena dalam tugas akhir ini menggunakan metode perbandingan *gain* dengan antena referensi yang digunakan sebagai pembanding memiliki *gain* sebesar 5 dBi. Hasil pengukuran *gain* dapat dilihat pada gambar 27.



Gambar 25 HPBW Bidang H



Gambar 27 Hasil Pengukuran Gain

Pada gambar 27 terlihat daya tertinggi yang diterima antena referensi ( $P_1$ ) adalah -68 dBm dan daya yang diterima antena yang akan diukur/AUT ( $P_2$ ) adalah -55 dBm. Dengan menggunakan persamaan (11) *gain* AUT dapat dihitung.

$$G_{AUT}(\text{dBi}) = G_{ref}(\text{dBi}) + P_2(\text{dB}) - P_1(\text{dB})$$

$$G_{AUT}(\text{dBi}) = 5 + (-55) - (-68)$$

$$G_{AUT}(\text{dBi}) = 18 \text{ dBi}$$

$$G_{AUT}(\text{tanpa dimensi}) = 63,09$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa *gain* AUT adalah sebesar 18 dBi. Hal ini berarti *gain* AUT 63,09 kali lipat lebih besar dari *gain* sebuah antenna isotropis.

### Beam Area

Pengukuran nilai *beam area* dapat dilakukan dengan menggunakan nilai HPBW pada bidang H dan E. *Beam area* dapat diukur dengan pendekatan matematis pada persamaan (1).

$$\Omega_A \cong \theta^{\circ} \text{HP} \phi^{\circ} \text{HP}$$

$$\Omega_A \cong 15^{\circ} \times 15^{\circ}$$

$$\Omega_A \cong 225^{\circ}$$

$$\Omega_A \cong \frac{225}{3282,8064} = 0,0685 \text{ steradian}$$

### Direktivitas dan Efisiensi Antena

Dengan menggunakan persamaan (2), dan (3) :

$$D \cong \frac{40000^2}{\theta_{HP}^2 \phi_{HP}^2}$$

$$D \cong \frac{40000^2}{15^2 15^2}$$

$$D \cong 177,78$$

Dalam dBi

$$D_{\text{dBi}} = 10 \log_{10} D$$

$$D_{\text{dBi}} = 10 \log_{10} 177,78$$

$$D_{\text{dBi}} = 22,498 \text{ dBi}$$

Besarnya nilai direktivitas kira-kira sama dengan 177,78 menunjukkan bahwa intensitas daya yang diradiasikan antenna pada *main lobe* 177,78 kali lipat lebih besar dibandingkan intensitas daya yang diradiasikan sebuah antenna isotropis. Besarnya efisiensi antenna dihitung dengan persamaan (4).

$$\eta = \frac{G}{D}$$

$$\eta = \frac{63,09}{177,78}$$

$$\eta = 0,355$$

### Effective Aperture Antenna / Area Efektif Antena dan Efisiensi Area/Celah

*Aperture* antenna dihitung pada panjang gelombang frekuensi 2,4 GHz yaitu sekitar 12 cm dengan menggunakan persamaan (6). Efisiensi celah dihitung dengan persamaan (7). Luas fisis antenna adalah luas bidang antenna dilihat dari arah datangnya sinyal, dalam hal ini adalah luas lingkaran reflektor parabola dilihat dari arah datang intensitas daya ketika antenna bertindak sebagai penerima.

$$A_e = \frac{G\lambda^2}{4\pi}$$

$$A_e = \frac{63,09 \times 0,12^2}{4\pi}$$

$$A_e = 0,072 \text{ m}^2$$

$$\epsilon_{ap} = \frac{A_e}{A_p}$$

$$\epsilon_{ap} = \frac{A_e}{\pi r^2}$$

$$\epsilon_{ap} = \frac{0,072}{\pi \times 0,24^2}$$

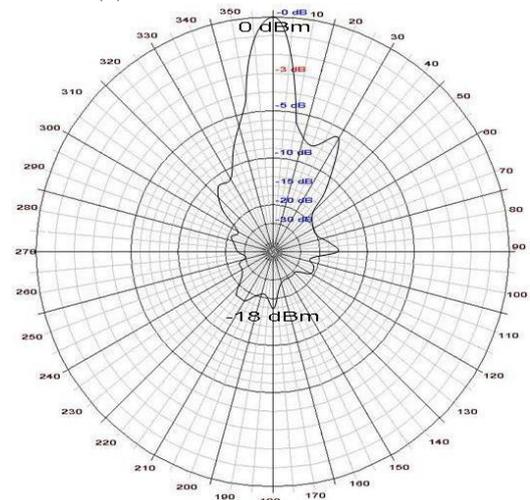
$$\epsilon_{ap} = 0,181$$

$$\epsilon_{ap} = 0,39$$

Hasil perhitungan efisiensi menunjukkan hanya 39% dari luas fisis antenna (luas permukaan antenna dilihat dari arah datangnya intensitas daya) yang efektif dalam penyerapan daya RF. Bagian luas fisis antenna yang lain menyebabkan terhamburnya gelombang elektromagnetik ke ruang bebas dan merubah sebagian gelombang menjadi rugi-rugi dalam bentuk panas.

### Front to Back Ratio

*Front to back ratio* menyatakan perbandingan daya maksimum antenna pada *main lobe* terhadap daya pada *back lobe*. *Front to back ratio* dihitung dari diagram polar pola daya dengan menggunakan persamaan (9).



Gambar 28 Diagram Polar Pola Daya AUT

$$\text{Front to Back Ratio (dB)} = 0 - (-18)$$

$$\text{Front to Back Ratio (dB)} = 18 \text{ dB} = 63,1$$

Hasil perhitungan nilai *front to back ratio* diperoleh kesimpulan bahwa antenna meradiasikan daya pada *main lobe* lebih besar 18 dB dibandingkan pada *back lobe*. Dengan kata lain intensitas daya pada *main lobe* 63,1 kali lebih besar daripada *back lobe*.

## 4.2 Pengujian Antena

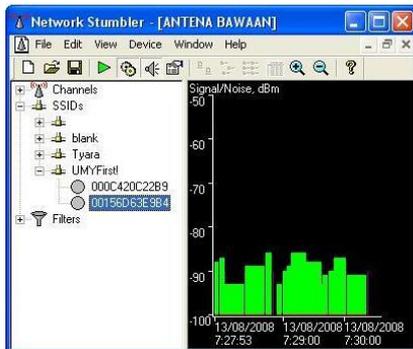
Pengujian antenna meliputi kemampuan antenna dalam menangkap sinyal WLAN pada jarak yang jauh dan menangkap tingkat sinyal yang diterima antenna dengan tingkat sinyal yang diterima antenna bawaan perangkat WLAN pada jarak yang sama.

Pengujian dilakukan di 2 kota yaitu Yogyakarta dan Semarang. Pengujian di Yogyakarta dilakukan di sekitar Universitas Muhammadiyah

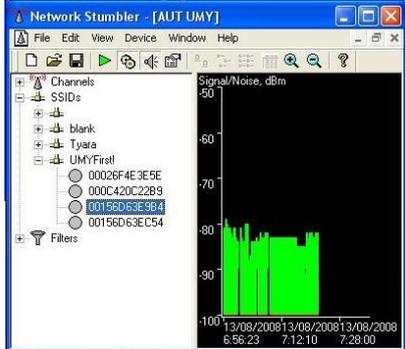
Yogyakarta (UMY). Pengujian di Semarang meliputi 3 titik yaitu Asrama mahasiswa Universitas Diponegoro (UNDIP) Tembalang, lantai 3 gedung B Teknik Elektro UNDIP, dan di jalan Wonodri Atas no 4 Semarang Selatan. Penentuan letak koordinat tempat pengujian dan jarak pengujian menggunakan perangkat lunak *Google Earth* versi 4.2.0205.5730. untuk memperoleh tingkat daya yang diterima digunakan perangkat lunak *netstumbler* versi 0.4.0.

### Pengujian di Yogyakarta

Pengujian di Yogyakarta dilakukan dengan cara membandingkan tingkat sinyal yang diterima antenna bawaan perangkat WLAN dengan tingkat sinyal yang diterima AUT. Antena WLAN yang digunakan sebagai pembanding memiliki *gain* 5 dBi. Lokasi pengujian terletak di daerah Palemam Tamantirto jalan Sunan Kudus, Bantul, Yogyakarta. Pengujian dilakukan dengan cara mengarahkan kedua antenna pada *access point* UMY dengan SSID UMYFirst!. Jarak lokasi pengujian dari UMY sekitar 790,29 meter. Hasil pengujian ditampilkan untuk kedua antenna ditampilkan pada gambar 29 dan 30.



Gambar 29 Hasil Pengujian Antena WLAN di UMY



Gambar 30 Hasil Pengujian AUT di UMY

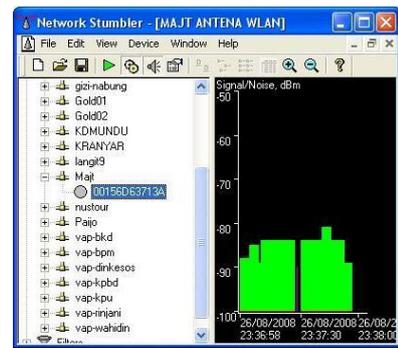
Pada gambar 29 dan 30 dapat terlihat adanya perubahan tingkat sinyal yang diperoleh dari kedua antenna. Besarnya daya tertinggi yang diperoleh pada antenna bawaan WLAN adalah -86 dBm sedangkan pada AUT sebesar -80 dBm. Sinyal yang diperoleh dari antenna perangkat WLAN cenderung mengalami *fading* (naik turun) dengan kadang-kadang menghilang untuk beberapa saat.

### Pengujian di Semarang

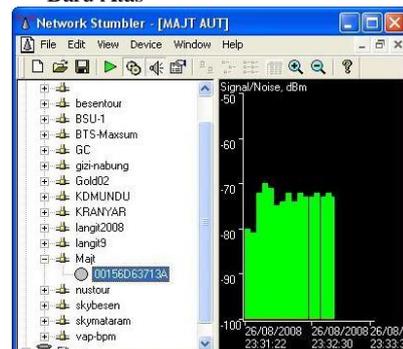
Pengujian di Semarang meliputi 3 titik yaitu Asrama Mahasiswa Universitas Diponegoro (UNDIP) Tembalang, lantai 3 gedung B Teknik Elektro UNDIP, dan di jalan Wonodri Baru Atas no 4 Semarang Selatan.

Pada pengujian di lantai 3 gedung B Teknik Elektro UNDIP dan jalan Wonodri Baru Atas no 4, antenna bawaan WLAN dan AUT diarahkan pada *access point* Masjid Agung Jawa Tengah dengan SSID majt.

Gambar 31 adalah hasil pengujian di jalan Wonodri Baru Atas no 4 dengan menggunakan antenna bawaan perangkat WLAN. Gambar 32 merupakan hasil pengujian AUT pada lokasi yang sama. Tingkat sinyal tertinggi yang diperoleh dari antenna bawaan WLAN adalah -80 dBm. Pada AUT tingkat sinyal tertinggi yang diperoleh mencapai -70 dBm.

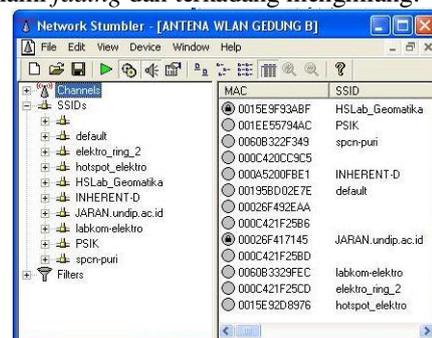


Gambar 31 Hasil Pengujian Antena WLAN di jl Wonodri Baru Atas

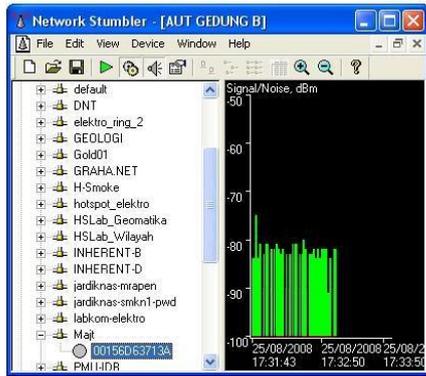


Gambar 32 Hasil Pengujian AUT di jl Wonodri Baru Atas

Lokasi pengujian berikutnya berada di lantai 3 Gedung B Teknik Elektro Undip. Pada pengujian ini, kedua antenna diarahkan pada menara Masjid Agung. Jarak pengujian dengan menara adalah 7375,52 meter. Hasil pengujian untuk antenna perangkat WLAN dan AUT ditampilkan pada gambar 33 dan 34. Pada pengujian menggunakan antenna perangkat WLAN, SSID majt tidak terdeteksi. Pengujian menggunakan AUT didapatkan hasil nilai daya yang diperoleh rata-rata bernilai -81 dBm dengan sinyal cenderung mengalami *fading* dan terkadang menghilang.



Gambar 33 Hasil Pengujian Antena WLAN di Gedung B



Gambar 34 Hasil Pengujian AUT di Gedung B

Tabel 4 Hasil Pengujian

LOKASI DAN JARAK	ANTENA PERANGKAT WLAN	ANTENA BUATAN
UMY-PALEMAN TIRTO 731,69 METER	-82 dBm	-62 dBm
ELEKTRO-ASRAMA 790,29 METER	-86 dBm	-80 dBm
MAJT-JL WONODRI BARU ATAS NO 4 2830,45 METER	-80 dBm	-70 dBm

Tabel 4 adalah ringkasan hasil pengujian antenna pada berbagai jarak. Dapat dilihat bahwa daya keluaran AUT selalu lebih besar dari daya keluaran antenna omnidireksional. Pada pengujian dengan daya pancar yang sama (SSID sama), daya keluaran yang diperoleh AUT menurun seiring dengan bertambahnya jarak pengujian. Untuk jarak 7375,52 m, daya keluaran antenna omnidireksional sangat kecil sehingga tidak terbaca oleh perangkat lunak *netstumbler*.

## V PENUTUP

### 5.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa :

1. Nilai *half power beamwidth* (HPBW) AUT (*antenna under test*) pada bidang horizontal dan vertikal adalah sama yaitu 15°.
2. Besar *gain* AUT 18 dBi atau 63,9 kali *gain* antenna isotropis.
3. Nilai Direktivitas AUT 20,498 dBi dan memiliki efisiensi antenna sebesar 0,355.
4. Besarnya *beam area main lobe* adalah 0,0685 steradian atau 225 derajat kuadrat.
5. AUT memiliki *front to back ratio* 18 dB, yang berarti daya pada *main lobe* lebih besar 63,1 kali daripada *back lobe*.
6. Luas *Aperture* efektif AUT 0,072 m<sup>2</sup>, dengan efisiensi *Aperture* sebesar 0,39
7. Dari hasil pengujian, diperoleh tingkat daya keluaran antenna omnidireksional pada jarak 731,69 m, dan 2830,45 m adalah -86 dBm, dan -81 dBm. Untuk jarak 7375,52 m daya keluaran antenna tidak dapat diketahui nilainya (sangat kecil)

8. Pada pengujian dengan AUT diperoleh daya yang terukur pada keluaran antenna pada jarak 731,69 m, 2830,45 m, dan 7375,52 m adalah -79 dBm, -70 dBm, dan -81 dBm.
9. Daya keluaran AUT selalu lebih tinggi dari daya keluaran antenna omnidireksional.
10. Pada pengujian dengan daya pancar yang sama, daya keluaran yang diperoleh AUT menurun seiring dengan bertambahnya jarak pengujian.

## 5.2 SARAN

Sebagai masukan guna pengembangan lebih lanjut dari Tugas Akhir ini, maka penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Pengukuran antenna yang lebih teliti dapat dilakukan di dalam ruangan tanpa gema (*anechoic chamber*) agar tidak terjadi pantulan gelombang elektromagnet yang mempengaruhi hasil pengukuran.
2. Penggunaan perangkat seperti *spectrum analyzer*, *signal generator*, dan *power meter* akan meminimalkan kesalahan yang terjadi pada saat pengukuran.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adriansyah, Nachwan Mufti., *Antena dan Propagasi*, STT Telkom, Bandung, 2004.
- [2] Balanis, Constantine A., *Antenna Theory Analysis and Design*, 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley and Sons, Inc, New York, 1997.
- [3] Kraus, John D. and Ronald J. Marhefka, *Antennas for All Applications*, McGraw-Hill, inc, New York, 2002.
- [4] Outmesguine, Mike., *Wi-Fi Toys 15 Cool Wireless Projects for Home, Office, and Entertainment*, Wiley Publishing, Inc, Indianapolis, 2004.
- [5] Raisanen, Antti V and Arto Lehto., *Radio Engineering for Wireless Communication and Sensor Applications*, Artech House, london, 2003.
- [6] Sunggiardi, Michael S., *Workshop Wireless LAN*.
- [7] The ARRL, Inc., *The ARRL Antenna Book*, The ARRL, Inc, Newington, 2003.
- [8] The American Radio Relay League, Inc., *The ARRL Handbook for Radio Amateur 2002*, The ARRL, Inc, Newington, 2003.
- [9] Zennaro, Marco and Carlo Fonda., *Radio Laboratory Handbook*, the ICTP School On Digital Radio Communications for Research and Training in Developing Countries, 2004.
- [10] ---, *Biquad Analysis*, <http://www.lecad.uni-lj.si/%7Eleon/other/wlan/biquad>, 2008.

- [11] ---, *BiQuad Antenna constructions*, <http://martybugs.net/wireless/biquad>, 2008.
- [12] ---, *How to Build a Wifi BiQuad Dish Antenna*, <http://www.bikudo.com>, 2008.
- [13] ---, *Coaxial Cable Page*, <http://en.wikipedia.org/wiki/coaxial>, 2008.
- [14] ---, *Coaxial Cable Page*, <http://www.answers.com/encyclopedia/coaxial>, 2008.
- [15] ---, *Coax Cable Loss and Dynamic page*, <http://www.bcar.us>, 2008.
- [16] ---, *How to Build a Tincan Waveguide Wifi Antenna*, <http://www.turnpoint.net/wireless>, 2008.
- [17] ---, *multimedia trainingkit antenna exercises*, <http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk>, 2008.
- [18] ---, *N Connector*, [http://en.wikipedia.org/wiki/n\\_connector](http://en.wikipedia.org/wiki/n_connector), 2008.
- [19] ---, *Practical Wifi Antenna Measurements*, <http://pe2er.nl/antennetesten>, 2008.
- [20] ---, *RG58*, [http://en.wikipedia.org/wiki/rg\\_58](http://en.wikipedia.org/wiki/rg_58), 2008.
- [21] ---, *SMA and SSMA Connectors*, <http://martybugs.net/wireless/biquad>, 2008.
- [22] ---, *SMA Connector*, <http://www.answers.com/topic/smaconnector>, 2008.
- [23] ---, *Trevor Marshall BiQuad 802.11 b Antenna 11 dBi*, <http://www.trevormarshall.com>, 2008.
- [24] ---, *Wireless Networking in the Developing World A practical guide to planning and building low-cost telecommunications infrastructure*, Hacker Friendly LLC, 2007.

### **Biodata Penulis**



Adi Nugroho Dewantoro (L2F003477), lahir di Semarang pada tanggal 2 mei 1985. Saat ini sedang menempuh studi pendidikan strata I di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Konsentrasi Elektronika Telekomunikasi .

### Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Imam Santoso, S.T., M.T.

NIP. 132 162 546

Tanggal: \_\_\_\_\_

Ajub Ajulian Z, S.T., M.T.

NIP. 132 205 684

Tanggal: \_\_\_\_\_