

# ANALISA PERANCANGAN ANTENA OMNI VERTIKAL SEBAGAI TRANSCEIVER PENGUAT *ROUTER WIFI* DENGAN FREKUENSI 2,4 GHZ

Muhammad Hanafi <sup>\*</sup>), Pony Sedianingsih <sup>\*</sup>), Fitri Imansyah <sup>\*</sup>)

<sup>\*</sup> Program Studi Teknik Elektro (Telekomunikasi)  
Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura  
E-mail : [mhanafi09001@gmail.com](mailto:mhanafi09001@gmail.com)

## Abstract

*Omnidirectional* antenna (Omni) is a type of antenna that has a pattern radiance whole or in all directions in the amount of 360 ° in the vertical position, as it has a beam thorough omni antenna does not have a coverage area that is too far away, then this antenna is more devoted to relations wireless communication indoors antenna which is paired to a *wifi router* that functioned as an amplifier reconfigured so this antenna will work as a *transceiver* amplifier with a working frequency of 2.4 GHz for wireless LAN (*local area network*). The parameters that must be considered in designing antennas for wireless LAN is working frequency, Input Impedance, SWR (*Standing Wave Ratio*) and Gain, and omni antenna designed to have input impedance parameter value  $34.65 + j 7.24$  ohms, the SWR 1.44 and Gain 8.32 dB. In the connectivity test used the command line via the command prompt provided by MS-DOS on a computer with a Windows-based operating system, and testing applications use power beam analyzer wifi version of *Android-based smartphones*. To test the speed of the download and upload, conducted through speedtest.net on two different networks that wifi.id network with download speeds of 15.22 Mbps, upload 10.48 Mbps network and the Faculty of Engineering at 1.09 Mbps download speed, upload 0.11 Mbps, which is influenced by the speed speedtest maximum value and minimum speeds provided by ISP (internet Service Provider).

Keywords : *Antena Omni, Transceiver, Router Wifi, frekuensi 2,4 GHz*

## 1. Pendahuluan

### 1.1 LatarBelakang

Pada era teknologi seperti saat ini teknologi dan informasi selalu berkembang dengan sangat cepat. Manusia memerlukan sarana serta prasarana komunikasi yang memadai pula untuk dapat menunjang kebutuhan berkomunikasi tersebut, sehingga antara dua orang ataupun lebih agar dapat saling bertukar informasi di mana saja, kapan saja dan dengan siapa saja. Salah satu system komunikasi andalan bagi terselenggaranya integrasi sistem telekomunikasi secara global adalah system komunikasi *wireless* (tanpa kabel).

Sistem telekomunikasi wireless adalah suatu sistem yang menghubungkan antara dua perangkat atau lebih tanpa menggunakan kabel, yaitu menggunakan gelombang elektromagnetik sebagai sarana pengganti

kabel. Dan dibutuhkan perangkat berupa antena untuk menunjang terjadinya komunikasi dalam suatu sistem wireless ini.

Dalam system komunikasi wireless, peranan antenna sangat penting yaitu untuk memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik dari suatu perangkat ke perangkat lain. Seperti antenna pemancar, dan ada juga antenna penerima, sehingga memungkinkan terjadinya komunikasi dalam suatu jaringan wireless tersebut. Salah satu system telekomunikasi wireless adalah jaringan internet yang menggunakan *Router Wifi* sebagai media penghubung dari LAN (*Local Area Network*) ke beberapa perangkat ataupun dari perangkat satu ke perangkat lain dengan system nirkabel. Dalam system ini, antenna digunakan sebagai pengantar dan penerima gelombang elektromagnetik.

Dalam hubungan tersebut, diperlukan jalur frekuensi yang sama agar suatu perangkat dapat terhubung ke perangkat lainnya. Ada beberapa jenis jalur frekuensi yang dipakai dalam sistem wireless, salah satunya ialah sistem yang beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz yang akan digunakan sebagai frekuensi tetap dalam penulisan tugas akhir ini.

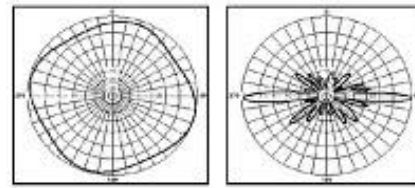
Sementara yang menjadi permasalahan dalam komunikasi jaringan wireless saat ini ialah menitik beratkan pada jarak atau luasan area jangkauan. Sehingga ada berbagai cara untuk meningkatkan dan memperluas area jangkauan wireless tersebut, salah satunya adalah dengan mengganti perangkat antenna pada perangkat penghubungnya.

Antena yang digunakan dalam sebuah jaringan wireless disesuaikan dengan lingkup jangkauan yang diharapkan, dalam system ini untuk menjangkau kesegala arah atau dengan kata lain yang memiliki pancaran hingga 360° maka digunakan jenis antena omni directional atau antenna omni. Karena antenna omni merupakan antena yang memiliki radiasi pancaran *nondirectional* pada salah satu bidang, dan pola *directional* pada bidang yang lain, atau dengan kata lain antenna omni menjangkau pada area sekeliling antenna tanpa suatu arah tertentu.

Penggunaan antenna dengan jenis pola pancaran *omnidirectional* lebih dikhususkan untuk sebuah hubungan komunikasi data dengan jaringan wireless dalam ruangan (*indoor*), karena antenna dengan jenis ini memiliki area jangkauan yang tidak terlalu jauh. Dikarenakan hal tersebut maka akan dirancang antena omni  $\frac{1}{2} \lambda$  dengan *vertical position* yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz.

### 1.2. Antena Omni Pada Jaringan Wireless

Antena *Omnidirectional* biasa disebut juga antena *nondirectional* yaitu jenis antena yang mempunyai pola pancaran ke segala arah atau jenis antena yang tidak memiliki pola pancaran ke satu arah tertentu. Antena ini sering digunakan dalam hubungan komunikasi nirkabel jarak pendek, yang menghubungkan *point to multi-point* atau yang menghubungkan satu *point* pemancar ke banyak *point* penerima. Sehingga Antena ini dapat diletakkan di tengah – tengah sebagai pemancar dan penerima pada posisi sekeliling antena. Karena antena ini memiliki sudut pancaran radiasi yang besar yaitu 360° atau satu putaran penuh pada sekelilingnya.



**Gambar 1** Pola radiasi antena Omni

Gambar 1 menunjukkan pola radiasi pancaran antena *omnidirectional* yang memiliki radiasi pancaran ke segala arah disekelilingnya. Namun antena ini hanya digunakan sebagai pemancar dalam hubungan wireless jarak pendek, karena daya jangkauan antena yang tidak dapat mencakup pada area yang terlalu jauh.

## 2. Metodologi Perancangan

### 2.1. Perhitungan Perancangan Antena

Antena yang akan dirancang merupakan salah satu jenis antena dipole  $\frac{1}{2} \lambda$ , seperti diketahui bahwa antena dipole adalah jenis antena yang terbuat dari kawat tembaga. Pada antena ini digunakan kawat tembaga berukuran diameter 2,5 mm yang mana nilai Velocity Faktor terhadap frekuensi 2,4 GHz ( $2,4 \times 10^9$  Hz) telah diketahui sebesar 0,96. Sedangkan untuk jenis pola pancaran antena ini memiliki pola *omnidirectional* atau kesegala arah dan diaplikasikan dengan posisi *vertical* maka antena ini dinamakan *Antena Omni Vertikal*.

Untuk dapat merancang antena nilai dasar yang harus diketahui nilai  $\lambda$  (Panjang gelombang) yang sesuai dengan frekuensi kerja antena, dimana antena yang dirancang ini akan dioperasikan pada frekuensi 2,4 GHz. Berikut adalah persamaan untuk menghitung panjang gelombang :

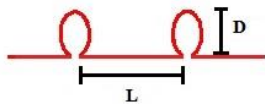
$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Dimana :

C = kecepatan cahaya, yaitu  $3 \times 10^8$  (m/s)

F = Frekuensi (Hertz)

Dari persamaan diatas akan didapatkan nilai panjang gelombang yang akan menjadi dasar dari perhitungan ukuran fisik antena *omni vertical* yang akan dirancang.



**Gambar 2** Perhitungan Dasar Perancangan Antena

Antena ini memiliki segmen – segmen lingkaran kawat secara linieritas atau sejajar, seperti diperlihatkan pada Gambar 2 dimana L adalah jarak antar segmen dan D adalah diameter lingkaran pada setiap segmen antena, atau dapat dituliskan dengan persamaan berikut :

$$L = \frac{VelF \times C}{2 \times f}$$

dan,

$$D = 2 \times r$$

$$\sqrt{r} = \frac{L}{22/7}$$

Dimana :

L = Jarak antar segmen rangkaian antena (mm)

VelF = Velocity factor kawat tembaga, yaitu 0,96

D = Diameter lingkaran segmen (mm)

r = jari – jari lingkaran segmen antena (mm)

## 2.2. Peralatan Dan Bahan

Beberapa peralatan yang akan digunakan dalam perancangan antena Omni vertikal dan termasuk bahan dalam pembuatan antena ini adalah :

1. Dua batang kawat tembaga 2,5 mm (masing – masing panjang 1 meter)
2. Dua buah konektor model BNC female
3. Dua buah Pigtail model BNC male to RP-SMA female
4. Seperangkat Router wireless (*support double antenna*)
5. Dua buah pipa PVC ½ inci (masing – masing panjang 0,6 meter)
6. Empat buah tutup pipa PVC ½ inci
7. Penggaris
8. Solder dan Timah Patri

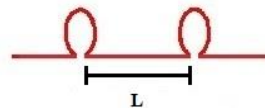
## 2.3. Metode Perancangan

Dalam perancangan antena yang paling utama harus ditentukan ialah besaran frekuensi

yang ingin dicapai, pada perancangan ini akan melokasikan antena pada frekuensi 2,4 GHz. Sedangkan untuk menghitung ukuran fisik antena harus diketahui besaran panjang gelombang (meter) dari frekuensi kerja antena,. Panjang gelombang pada frekuensi 2,4 GHz dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{c}{f} \\ &= \frac{3 \times 10^8}{2,4 \times 10^9} \\ &= \frac{3}{24} \\ &= \mathbf{0,125 \text{ meter atau } 125 \text{ mm}} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas diketahui panjang gelombang pada frekuensi kerja 2,4 GHz adalah 125 mm, dan untuk menghitung ukuran fisik antena agar bekerja sesuai frekuensi 2,4GHz maka harus dihitung panjang jarak antar segmen (L).



**Gambar 3** Panjang Jarak antar Segmen

Jarak antar segmen antena ialah ½ λ yang dipengaruhi velocitu faktor kabel yang diketahui sebesar 0.96. Seperti diperlihatkan pada Gambar 3 ialah ukuran panjang jarak antar segmen antena yang dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} L &= \frac{VelF \times C}{2 \times f} \\ L &= \frac{0,96 \times (3 \times 10^8)}{2 \times (2,4 \times 10^9)} \\ &= \frac{0,96 \times 3}{2 \times 24} \\ L &= \mathbf{0,6 \text{ meter atau } 60 \text{ mm}} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan panjang jarak antar segmen antena adalah 60 mm. Sedangkan disetiap segmen antena mempunyai sebuah lingkaran yang berdiameter (D).



**Gambar 4** Diameter Lingkaran Segmen

Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4 ialah segmen antena yang berbentuk lingkaran dimana  $D$  ialah diameter lingkarannya dan lingkaran segmen antena ini mempunyai luasan sebesar  $\frac{1}{2}$  panjang gelombang yang dipengaruhi nilai velocity faktor kabel sebesar 60 mm. Karena segmen antena ini berbentuk lingkaran, maka untuk mengetahui diameter lingkaran tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$D = 2 \times r$$

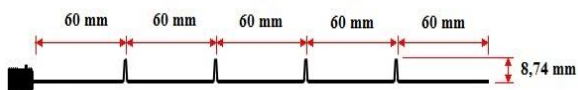
dan, untuk menghitung  $r$ , digunakan rumus lingkaran yang telah diketahui luasnya yaitu 60 mm.

$$\begin{aligned} \sqrt{r} &= \frac{L}{22,7} \\ \sqrt{r} &= \frac{60}{22,7} \\ \sqrt{r} &= 19,10 \\ r &= 4,37 \end{aligned}$$

Jadi,

$$\begin{aligned} D &= 2 \times 4,37 \\ &= 8,74 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan panjang diameter lingkaran setiap segmen antena adalah 8,74 mm. Maka untuk perancangan antena omni vertikal ini telah didapat kan panjang jarak antar segmen antena adalah 60 mm dan diameter lingkaran segmen antena adalah 8,74 mm.



**Gambar 5** Ukuran Fisik Antena Omni Vertikal

Antena omni vertikal ini akan dirancang dengan memiliki segmen - segmen yang diharapkan akan mendapatkan nilai penguatan gain yang besar, dimana segmen – segmen tersebut telah diketahui ukurannya seperti diperlihatkan pada gambar 3.3 dengan satuan panjang mm (mili meter).

Berikut akan dijelaskan langkah – langkah proses perancangan antena omni vertikal yang beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz dengan singkat dan jelas mulai dari persiapan sampai dihubungkan ke akses point hingga siap untuk diuji.

a) Membuat Inti Antena (*Elemen Driven*)

Inti antena adalah elemen utama pada antena. karena antena ini adalah jenis antena *ground plane*, maka antena ini hanya terdiri dari sebuah elemen tunggal yang dinamakan *Elemen Driven*. Berikut akan dijelaskan metode perancangan elemen driven antena :

1. Siapkan alat dan bahan
2. Ukur kawat tembaga sepanjang 60 mm
3. Buat satu buah lingkaran dengan ukuran diameter  $\pm 8,74$  mm tepat pada ukuran 60 mm, seperti pada Gambar 6



**Gambar 6** Lingkaran Segmen Antena

4. Ukur mulai dari pangkal lingkaran tersebut sepanjang 60 mm dan ulangi langkah nomor-3 hingga memiliki 5 buah segmen lingkaran.
5. Setelah membuat segmen lingkaran ke-5, ukur mulai dari pangkal lingkaran segmen tersebut dan potong kawat tepat pada ukuran 60 mm.

b) Pemasangan Elemen Driven Antena ke-Konektor dan Membuat Pigtail

Elemen driven akan dipasang ke sebuah konektor dimana konektor tersebut memiliki jenis yang sama dengan salah satu kutub pigtail, dan elemen driven ini akan diberikan sebuah pelindung (*cover*) berupa pipa PVC dengan ukuran  $\frac{1}{2}$  inci.

Pigtail adalah sebuah komponen yang berfungsi sebagai konektor, pigtail digunakan karena perbedaan jenis konektor pada kedua buah kutub. Pigtail memiliki banyak jenis, ada yang pigtail yang berjenis *connector to-conenncor* yaitu menggabungkan kedua buah konektor tanpa menggunakan kabel, dan ada pigtail yang menggunakan kabel penghubung sebagai perantara kedua buah konektor tersebut. Dalam perancangan antena ini pigtail yang digunakan ialah jenis pigtail yang dengan menggunakan kabel yang memiliki panjang 60 cm dan difungsikan untuk menghubungkan

antena ke akses point. Berikut akan dijelaskan secara singkat metode pemasangan elemen driven ke-konektor dan langkah – langkah pembuatan pigtail :

1. Pasang elemen driven antenna yang telah dirancang pada konektor NBC female, disolder jika perlu. Dan pasang konektor tersebut pada penutup pipa PVC ½ inc.



**Gambar 7** Pemasangan Elemen Driven ke-Konektor

2. Buat Pigtail dengan menghubungkan konektor NBC male dan konektor RP-SMA female dengan kabel, dan pasang Pigtail bagian konektor NBC male dengan konektor NBC female yang telah terpasang elemen driven antenna.



**Gambar 8** Pigtail NBC male to RP-SMA female

3. Pasang pipa PVC pada penutup tersebut sehingga elemen driven antenna berada didalamnya.



**Gambar 9** Pemasangan Cover antenna

4. Pasang penutup pipa bagian sisi lainnya sehingga ujung antenna tertutup
5. Hubungkan pigtail bagian RP-SMA female ke akses point



**Gambar 10** Menghubungkan Antena ke-Akses Point

6. Antena siap untuk diuji

### 3. Pengujian Antena

#### 3.1. Pengujian Konektivitas

Pengujian konektivitas dapat dilakukan dengan berbagai cara salah satunya menggunakan *command prompt* yang dapat dilakukan dengan memberikan perintah PING melalui jendela *cmd* (singkatan dari *command prompt*) pada komputer berbasis Windows.

Seperti diketahui PING (*Packet Internet Gropher*) ialah salah satu layanan dalam baris perintah *command prompt* yaitu sebuah perintah untuk memberikan informasi tentang konektivitas sebuah perangkat ke perangkat lain atau dari sebuah perangkat ke server internet.

Dalam pengujian ini PING akan dilakukan dari sebuah perangkat komputer ke perangkat server yaitu sebuah router yang telah dipasangkan antenna omni vertikal yang telah dirancang dan ter sambung ke jaringan internet Fakultas Teknik yang tersedia di Laboratorium Telekomunikasi.

Perintah PING akan dijalankan dengan meng-input alamat IP (*Internet Protokol*) perangkat server, dan untuk koneksi ke internet PING dapat dilakukan dengan meng-input halaman web (*website*) yang akan dituju, dalam hal ini akan dilakukan PING ke [www.google.co.id](http://www.google.co.id)

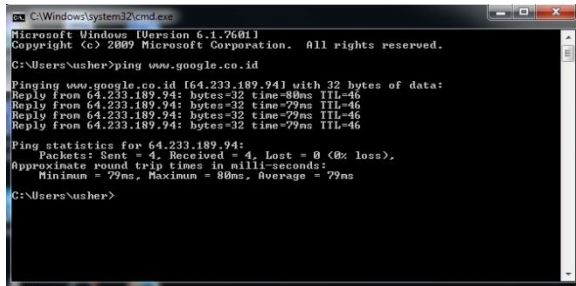


**Gambar 11** PING ke perangkat Router

Pada Gambar 11 ialah hasil dari PING ke perangkat router wifi yang telah terpasang



antena omni vertikal. Diketahui terdapat empat buah paket ping yang dikirimkan dalam satu kali perintah ping dan menghasilkan empat paket ping yang diterima kembali, dengan time maksimum ialah 8 ms dan time minimum ialah 1 ms dan nilai loss ialah nol, yang berarti tidak terjadi terputus hubungan konektivitas dari perangkat computer ke perangkat server saat melakukan PING.



**Gambar 12** PING ke website

Pada Gambar 12 ialah hasil PING ke salah satu halaman server internet yaitu [www.google.co.id](http://www.google.co.id) menggunakan router dengan antenna omni vertikal yang terhubung ke internet. Dengan empat buah paket ping yang dikirim dalam satu kali perintah ping mendapatkan nilai time maksimum ialah 80 ms dan nilai time minimum ialah 79 ms serta loss ialah nol, yang berarti jaringan terkoneksi penuh tanpa terputus saat melakukan PING dari sebuah perangkat computer ke sebuah perangkat server yang terkoneksi ke server internet.

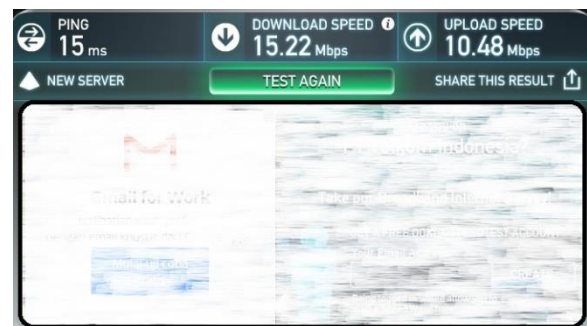
### 3.2. Pengujian Speedtest melalui *speedtest.net*

Speedtest.net adalah salah satu layanan pengujian yang memberikan informasi kecepatan koneksi internet yang diberikan oleh ISP (*Internet Service Provider*) pada perangkat yang terhubung. Dalam hal ini dapat juga untuk memastikan kecepatan internet yang dimiliki apakah sesuai dengan kecepatan yang telah sepakati dengan penyedia layanan atau tidak. Pada sebuah konektivitas internet, ada istilah CIR (*Committed Information Rate*) yaitu kecepatan minimal yang harus terpenuhi oleh ISP sesuai dengan kesepakatan. Dimana didalam speedtest ini terdapat pengujian downloadtest yaitu menguji kecepatan mengunduh (*download*) dan uploadtest yaitu menguji kecepatan mengunggah (*upload*).

Pengujian speedtest akan dilakukan dengan menguji kecepatan jaringan yang terkoneksi dengan router yang telah terpasang

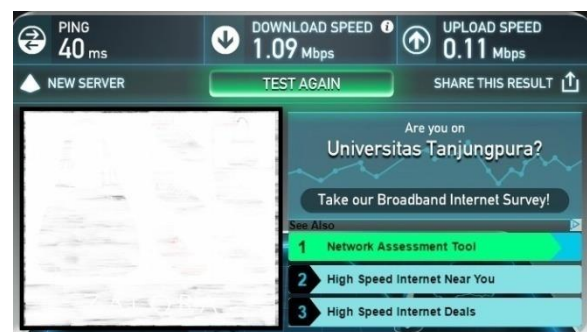
antena omni vertikal yang telah dirancang dalam kondisi terhubung ke dua jaringan internet. Dimana pengujian ini akan dilakukan dengan dua jaringan internet yang berbeda yaitu dengan jaringan internet yang disediakan oleh *Wifi.id* dan jaringan internet yang disediakan oleh ICT Fakultas Teknik yang tersedia di Laboratorium Telekomunikasi. Dalam hal ini kecepatan maksimum ialah kecepatan yang diberikan oleh ISP.

Untuk pengujian ini digunakan sebuah perangkat komputer yang akan digunakan untuk mengakses internet melalui router wifi yang telah dipasangkan antenna omni vertikal yang telah dirancang dan akan dilakukan dua kali pengujian pada jaringan yang terkoneksi pada dua buah jaringan internet yang masing - masing berbeda tersebut.



**Gambar 13** Speedtest melalui Jaringan *Wifi.id*

Pada Gambar 13 ialah hasil dari speedtest melalui speedtest.net pada jaringan yang disediakan oleh *Wifi.id* yang menampilkan nilai timing ping diatas ialah berarti statistik ketersediaan bandwidth pada satu kali pengujian ialah 15ms dengan kecepatan download ialah 15,22 mbps dan kecepatan upload ialah 10,48 mbps. Maka tersebut ialah kecepatan rata – rata pada setiap kali download dan upload dalam komunikasi wireless yang terhubung ke internet.



**Gambar 14** Speedtest melalui Jaringan Fakultas Teknik

Pada Gambar 14 ialah hasil dari speedtest melalui speedtest.net pada jaringan

yang disediakan oleh Fakultas Teknik yang menampilkan nilai timing ping diatas ialah berarti statistik ketersediaan bandwidth pada satu kali pengujian ialah 15ms dengan kecepatan download ialah 15,22 mbps dan kecepatan upload ialah 10,48 mbps. Maka tersebut ialah kecepatan rata – rata pada setiap kali download dan upload dalam komunikasi wireless yang terhubung ke internet.

Dari dua pengujian tersebut maka dapat diketahui bahwa kecepatan mengunduh (*download*) dan mengunggah (*Upload*) dipengaruhi oleh kecepatan maksimum yang diberikan oleh ISP (*Internet Service Provider*).

#### 4. Penutup

##### 4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian antena omni vertikal ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Antena yang memiliki pola pancaran omnidireksional tidak memiliki jangkauan yang terlalu jauh karena pola pancarannya yang berbentuk lingkaran keliling 360° yang bersifat menyeluruh dan tidak memiliki arah pancaran tertentu.
2. Nilai impedansi input antena adalah 34,65 + j 7,24 nilai SWR antena 1,44 dalam kategori BAIK, besaran Gain antena adalah 8,32 dB.
3. Dimensi atau ukuran fisik antena mempengaruhi nilai penguatan gain tidak merubah frekuensi kerja antena.
4. Speedtest dilakukan pada dua jaringan berbeda yaitu jaringan *Wifi.id* dengan kecepatan download 15.22 Mbps, upload 10.48 dan jaringan Fakultas Teknik dengan kecepatan download 1.09 Mbps, upload 0.11 Mbps.
5. Kecepatan Download dan Upload dipengaruhi oleh kecepatan maksimum dan minimum yang disediakan oleh ISP (*Internet Service Provider*).

##### 4.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan dari hasil perancangan dan analisa antena, berikut beberapa saran yang direkomendasikan penulis yaitu :

1. Melakukan percobaan pengukuran menggunakan alat ukur berupa SWR

meter untuk mengetahui nilai tegangan yang keluar dan tahanan pantul, yang berikutnya digunakan untuk menghitung nilai VSWR yang lebih akurat.

2. Menggunakan akses point yang telah diketahui daya keluaran ke antena (mW) untuk menghitung daya pancaran yang dihasilkan oleh antena (dBm), sehingga didapatkan nilai daya keluar dan daya pantul serta dapat mempertimbangkan dimensi ukuran antena yang ideal.

#### Refrensi

- (1) Arief Hamdani, Gunawan, komunikasi data melalui kabel network, edisi pertama, Jakarta, 2004.
- (2) ARRL Antenna Handbook, <http://www.arrl.org> 15 December 2015 00:25
- (3) Balanis, Constantine A., Antenna Theory Analysis and Design, John Wiley & Sons. Inc , New Jersey, 2005.
- (4) Dennis Roddy, John Collen, Komunikasi elektronika, edisi 3, jilid ke-dua, Lakehead University, Canada, 1990.
- (5) Easy Homemade 2.4 Ghz Omni Antenna <http://wireless.gumph.org/articles/hmemadeomni.html> 15 December 2015 01:37
- (6) <http://radiotengkorak.blogspot.co.id/2012/04/berapa-besar-impedansi-yang-terbaca.html> 7 June 2016 22.16
- (7) [http://www.tp-link.com/Resources/document/TL-WA830RE\\_User\\_Guide.pdf](http://www.tp-link.com/Resources/document/TL-WA830RE_User_Guide.pdf) 13 December 2015 23:21
- (8) Smale PH, Sistem telekomunikasi I, edisi ke-2, Jakarta, 1997.
- (9) William Stalling, Komunikasi dan jaringan nirkabel, edisi 2, jilid ke-dua, Jakarta, 1996



Muhammad Hanafi, Lahir 28 Desember 1990 di Kabupaten Sintang, Kalimantan Barat. Memperoleh gelar sarjana pada 19 Agustus 2016 Program Studi Teknik Elektro Telekomunikasi, jurusan Teknik Elektro, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia.