

# Rancang Bangun Antena Mikrostrip *Bow-Tie* 433 MHz Untuk Perangkat Jaringan Sensor Nirkabel

Dina Angela<sup>#2</sup>, Helmi Indra Hartanto<sup>#1</sup>

<sup>#</sup>Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Harapan Bangsa  
Jl. Dipatiukur no. 80-84, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

<sup>1</sup>dina\_angela@ithb.ac.id

<sup>2</sup>helmiindrah@gmail.com

**Abstract**— A microstrip antenna that works at a frequency of 433 MHz and has dimensions of 225 x 105 mm, printed on inexpensive FR-4 materials, is proposed to be implemented in wireless sensor networks (WSN) in Indonesia. This microstrip antenna has a bow-tie patch that is directly supplied with a 50 Ohm coaxial cable. The measurement results of the antenna characteristics show -28.6 dB return loss of 154 MHz bandwidth. The wide bandwidth, 2.05 dBi gain, and omnidirectional radiation patterns support the antenna to overcome the propagation in the environment where the WSN system is placed.

**Keywords**— wireless sensor network (WSN), microstrip antenna, bow-tie, wide bandwidth antenna, omnidirectional, 433 MHz.

**Abstrak**— Sebuah antena mikrostrip yang bekerja pada frekuensi 433 MHz dan memiliki dimensi 225 x 105 mm, dicetak pada material FR-4 yang relatif murah, diusulkan untuk diimplementasikan dalam jaringan sensor nirkabel (JSN) di Indonesia. Antena mikrostrip ini memiliki bentuk *patch bow-tie* yang dicatu langsung dengan 50 Ohm kabel koaksial. Hasil pengukuran terhadap karakteristik antena menunjukkan *return loss* -28,6 dB dari *bandwidth* 154 MHz. *Bandwidth* yang relatif lebar tersebut, *gain* 2,05 dBi, dan pola radiasi *omnidirectional* mendukung antena untuk dapat mengatasi propagasi yang terdapat pada lingkungan di mana sistem WSN ditempatkan.

**Kata Kunci**— jaringan sensor nirkabel (JSN), antena mikrostrip, *bow-tie*, antena *bandwidth* lebar, omnidireksional, 433 MHz.

## I. PENDAHULUAN

Jaringan Sensor Nirkabel (JSN) atau *wireless sensor networks* (WSN) adalah suatu sistem tersebar yang secara keseluruhan terdiri dari banyak node berupa perangkat sensor dan di setiap perangkat sensor tersebut dilengkapi dengan peralatan sistem komunikasi [1]. Aplikasi WSN di berbagai negara banyak digunakan pada bidang militer, lingkungan, kesehatan, dan industri. Dalam bidang militer, misalnya, digunakan dalam sistem deteksi *sniper*. Dalam bidang lingkungan diterapkan untuk memonitor kondisi gunung berapi. Dalam bidang kesehatan digunakan untuk memonitor kondisi pasien, dan lain-lain [2].

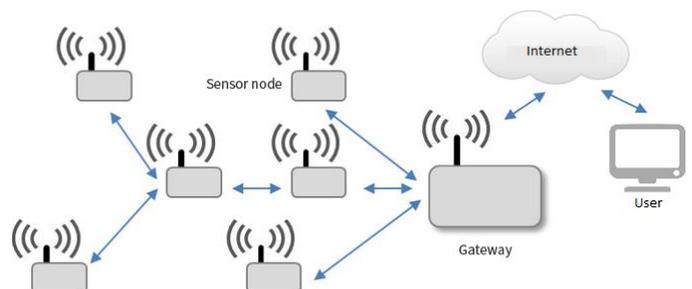
Masing-masing sensor bekerja secara otomatis untuk memonitor suatu kondisi lingkungan, baik secara fisik ataupun kimiawi. Prinsip utama WSN adalah membentuk sebuah jaringan yang dapat digunakan sebagai *data mining* dari setiap sensor yang disebarkan, seperti yang ditampilkan pada Gambar 1. Setiap sensor akan menyimpan data yang nantinya

akan dikirimkan ke *gateway sensor node* atau *base station* untuk diteruskan lagi ke pengguna. Semua data dari masing-masing sensor tersebut dapat diolah menjadi informasi yang dibutuhkan.

Komunikasi antar *node* umumnya menggunakan frekuensi *Ultra High Frequency* (UHF), yaitu antara 300 MHz hingga 3 GHz. Berdasarkan standar IEEE 802.15.4, frekuensi yang dapat digunakan untuk komunikasi WSN adalah 433 MHz dan 915 MHz untuk Amerika Utara, 868 MHz untuk Eropa, dan 2,45 GHz untuk global [3]. Komunikasi radio pada *gateway sensor node* umumnya menggunakan jalur frekuensi 2,4 GHz, yang merupakan standar pada perangkat WLAN IEEE 802.11 [4]. Oleh karena itu, pengiriman data dari *gateway sensor node* ke pengguna dengan melalui media internet memberikan kepraktisan untuk memonitor area-area yang sangat jauh dan sulit dijangkau seperti di area pegunungan, dan sebagainya.

Jenis-jenis antena yang biasa digunakan pada sistem komunikasi WSN adalah antena *planar inverted F*, antena *whip*, antena *patch*, antena dipol, dan antena dipol berbentuk *bow-tie* [5]. Penentuan jenis antena WSN dipilih berdasarkan kriteria sistem WSN yang ingin dibangun, seperti lokasi penempatan *node* sensor WSN, topologi yang ingin dipakai pada jaringan WSN, atau frekuensi kerja antena WSN. Pada perangkat WSN tertentu antena yang dibutuhkan adalah antena yang memiliki pola radiasi yang arah pancarannya ke segala arah atau *omnidirectional* [2].

Antena mikrostrip *bow-tie* adalah antena mikrostrip yang dirancang dari dua buah segitiga yang dikombinasikan pada satu substrat yang sama [6]. Bentuk fisik antena mikrostrip *bow-tie* diperlihatkan pada Gambar 2. Antena mikrostrip *bow-tie* termasuk jenis antena mikrostrip yang memiliki karakteristik *Ultra Wide Band* (UWB), yaitu dapat mengha-



Gambar 1 Sistem komunikasi WSN

silkan *gain* yang tinggi dan memiliki dimensi antena yang relatif lebih kecil [3]. Dalam penelitian [7] sebuah antena mikrostrip *bow-tie* dirancang untuk diimplementasikan dalam WSN. Antena ini bekerja pada frekuensi 433 MHz dan memiliki *bandwidth* yang lebar (*wideband*). Antena diuji coba di dalam air tanpa menggunakan rangkaian penyesuaian impedansi (*matching circuit*).

Perangkat WSN yang dibangun secara lokal di Indonesia, seperti perangkat *automatic weather system* (AWS) dalam penelitian [8], membutuhkan antena yang murah dari biaya pembuatannya, mudah difabrikasi, serta memiliki dimensi yang relatif kecil, pola radiasi *omnidirectional*, *bandwidth* yang relatif lebar, dan *gain* di atas 6 dB. Di Indonesia komunikasi WSN umumnya menggunakan frekuensi 433 MHz. Oleh karena itu, dibutuhkan antena yang dapat memenuhi kebutuhan-kebutuhan tersebut.

Penelitian merancang dan merealisasikan antena mikrostrip dengan *patch* berbentuk *bow-tie* yang bekerja pada frekuensi 433 MHz yang memiliki karakteristik pola radiasi *omnidirectional*, *wideband*, dan *gain* di atas 6 dB. Hasil akhir dari penelitian ini adalah purwarupa antena mikrostrip *bow-tie* yang bekerja pada frekuensi 433 MHz. Antena ini dapat diterapkan pada perangkat *Wireless Sensor Networks* (WSN) untuk berbagai sektor, seperti pertanian, perkebunan, transportasi, pemantauan cuaca, dan lain-lain.

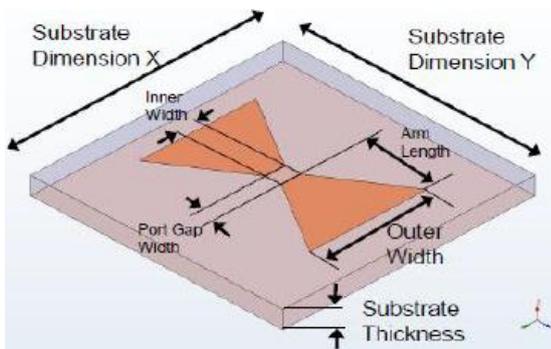
Makalah ini terdiri atas empat bagian. Bagian pertama adalah Pendahuluan yang membahas latar belakang masalah, tujuan penelitian, keluaran, dan manfaat penelitian. Konten Utama yang membahas proses perancangan secara teoritis dan proses optimalisasi rancangan melalui simulasi; Hasil dan Pembahasan yang menjelaskan hasil pengukuran antena secara langsung setelah dilakukan realisasi antena; Terakhir adalah bagian Kesimpulan berisi kesimpulan dari yang telah dilakukan serta saran pengembangan penelitian ke depan.

## II. KONTEN UTAMA

### A. Perancangan Antena Mikrostrip Bow-Tie

#### 1) Spesifikasi Antena

Spesifikasi antena yang ingin dicapai ditunjukkan pada Tabel I. Antena mikrostrip *bow-tie* yang akan dirancang terdiri dari dua buah *patch* berbentuk segitiga sama kaki yang



Gambar 2 Antena mikrostrip *bow-tie* [2]

dicatu langsung ke *patch* peradiasi antena dengan menggunakan kabel *coaxial* 50 Ohm. Pencatutan dilakukan simetris satu sama lain, seperti dicerminkan terhadap sumbu x dalam sebuah bidang 3 dimensi. Antena yang dirancang akan dengan menyolderkan bagian *inner* atau *core cable* ke bagian sisi peradiasi yang berseberangan dengan sisi peradiasi lain yang disolderkan dengan bagian *outer* atau *ground cable*.

Substrat yang akan digunakan adalah FR-4 Epoxy dengan permitivitas dielektrik relatif ( $\epsilon_r$ ) sebesar 4,4, ketebalan substrat ( $h$ ) 1,6 mm, dan ketebalan konduktor ( $t$ ) 0,03 mm. Ketebalan substrat dan konduktor antena tersebut sesuai dengan spesifikasi umum bahan substrat yang tersedia di pasar yang akan mempengaruhi perancangan antena.

#### 2) Perancangan Dimensi Antena

Perancangan *patch* antena mikrostrip *bow-tie* diawali dari pemodelan *patch* antena mikrostrip segiempat [7]. Untuk menentukan dimensi *patch*-nya bisa menggunakan persamaan panjang ( $L$ ) dan lebar ( $W$ ) *patch* antena mikrostrip segiempat. Persamaan untuk menentukan lebar ( $W$ ) tersebut adalah sebagai berikut [1]:

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (1)$$

$f_0$  adalah frekuensi osilasi dengan satuan Hertz,  $\epsilon_r$  adalah konstanta dielektrik substrat, dan  $c$  adalah kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s). Nilai konstanta dielektrik efektif ( $\epsilon_{r,eff}$ ) untuk  $W/h \geq 1$ , dengan  $W$  adalah lebar *patch* dan  $h$  adalah ketebalan substrat antena, dihitung melalui persamaan sebagai berikut [7]:

$$\epsilon_{r,eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( \frac{1 + 12h}{W} \right)^{-1/2} \quad (2)$$

Untuk dapat menentukan panjang *patch* antena ( $L$ ), diperlukan perhitungan panjang efektif ( $L_{eff}$ ) dan perhitungan panjang ekstensi ( $\Delta L$ ) sebagai pertimbangan terhadap efek *fringing* pada sisi tepi peradiasi yang diperluas dengan menambahkan  $\Delta L$ . Dari hasil perhitungan konstanta dielektrik efektif tadi, maka dapat dihitung sisi panjang efektif ( $L_{eff}$ ) *patch* antena dengan persamaan sebagai berikut [7]:

TABEL I  
SPESIFIKASI ANTENA MIKROSTRIP BOW-TIE

Spesifikasi Antena	Nilai
Frekuensi Tengah	433 MHz
VSWR	$\leq 2$
Bandwidth	$> 25$ MHz
Pola Radiasi	<i>Omnidirectional</i>
Gain	$\pm 2$ dB
Input Impedance	50 $\Omega$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (3)$$

Setelah diketahui panjang efektif *patch* antena, panjang ekstensi ( $\Delta L$ ) antena dihitung dengan persamaan sebagai berikut [10]:

$$\Delta L = 0.412h \left[ \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \right] \quad (4)$$

Setelah  $L_{eff}$  dan  $\Delta L$  diketahui, maka dapat dihitung panjang *patch* yang sebenarnya ( $L$ ) untuk antena mikrostrip segiempat [10]:

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (5)$$

Antena mikrostrip *bow-tie* merupakan antena *dipole*, sehingga terdapat dua *patch* yang kedua panjang *patch*-nya dinyatakan dalam panjang gelombang ( $\lambda$ ). Panjang gelombang inilah yang menjadi acuan dalam perancangan antena, dengan syarat panjang kedua *patch* antena tidak boleh melebihi panjang gelombang antena. Untuk menentukan panjang gelombang ( $\lambda$ ) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut [11]:

$$\lambda = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (6)$$

Setelah diketahui panjang ( $L$ ) dan lebar ( $W$ ) *patch*, selanjutnya adalah menentukan panjang ( $L_g$ ) dan lebar ( $W_g$ ) dimensi *ground plane* antena yang dihitung melalui persamaan sebagai berikut [8]:

$$L_g = 6h + L \quad (7)$$

$$W_g = 6h + W \quad (8)$$

Lebar saluran atau konduktor ( $W$ ), ketebalan substrat antena ( $h$ ), dan konstanta dielektrik efektif ( $\epsilon_{reff}$ ) menentukan impedansi karakteristik ( $Z_0$ ) saluran transmisi. Persamaan impedansi karakteristik ( $Z_0$ ) untuk  $W/h > 1$  adalah sebagai berikut [10]:

$$Z_0 = \frac{120\pi / \sqrt{\epsilon_{reff}}}{W/h + 1.393 + 2 / 3 \ln(W/h + 1.44)} \quad (9)$$

Pada penelitian ini dimensi dan perancangan awal antena mikrostrip *bow-tie* mengacu pada penelitian dalam [9]. Dalam penelitian tersebut antena mikrostrip *bow-tie* dirancang untuk dapat bekerja pada frekuensi 433 MHz. Antena juga diaplikasikan pada *Wireless Sensor Networks*, namun untuk ditempatkan di dalam air. Spesifikasi antena ini dirangkum

dalam Tabel II. Antena dicetak di atas *printed circuit board* (PCB) dengan jenis substrat FR-4 *glass-reinforced* yang memiliki ketebalan substrat 1,6 mm dan ketebalan konduktor tembaga 0,0356 mm. Antena juga dicatu langsung dengan kabel *coaxial* RG58 dengan impedansi 50 Ohm ke setiap *patch*-nya. Dimensi antena ditunjukkan oleh Gambar 3 [7].

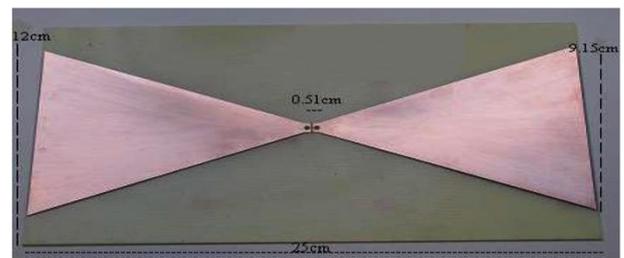
### B. Simulasi Antena Mikrostrip Bow-Tie

Perancangan antena mikrostrip pada perangkat lunak simulasi antena harus memenuhi beberapa unsur agar desain dapat disimulasikan. Unsur-unsur yang harus terpenuhi dalam perancangan antena mikrostrip diantaranya adalah perancangan model 3D substrat antena dan pendefinisian jenis material yang digunakan, perancangan *patch* antena mikrostrip sebagai peradiasi antena, pendefinisian *port* saluran transmisi dan metode simulasi pencatutan *port* pada antena yang dicatukan, perancangan *boundary* sebagai simulasi radiasi yang dipancarkan antena, dan *analysis setup* sebagai langkah solusi pada *range* frekuensi berapa antena akan disimulasikan. Setelah semua unsur yang diperlukan dalam perancangan antena terpenuhi, langkah selanjutnya adalah *validation check* untuk mengecek apakah semua unsur rancangan antena sudah terpenuhi dan sesuai untuk dilakukan analisis. Gambar 4 memperlihatkan hasil *validation check* yang memberikan tanda centang berwarna hijau ketika semua unsur sudah dipenuhi dan sudah dilakukan secara benar. Setelah proses *validation check* berhasil tanpa ada kesalahan, selanjutnya adalah *analyze all* sebagai proses analisis yang dilakukan oleh perangkat lunak.

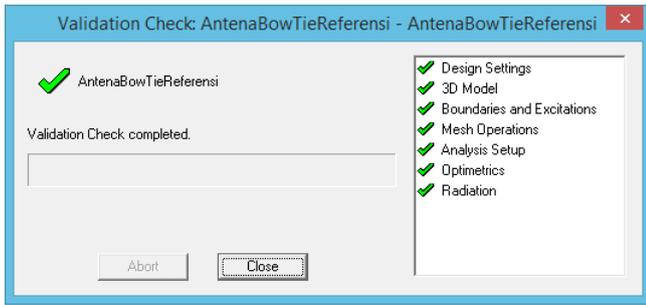
Simulasi diawali dengan melakukan pengukuran nilai VSWR antena. Pada Gambar 5 ditunjukkan hasil simulasi VSWR dari antena referensi. Ada tiga buah tanda, yaitu  $m1$ ,  $m2$ , dan  $m3$ , masing-masing merepresentasikan nilai frekuensi dan VSWR. Tanda  $m1$  menunjukkan bahwa pada frekuensi 433 MHz nilai VSWR yang didapat adalah 2,15. Hal tersebut menunjukkan bahwa antena yang dirancang memiliki nilai

TABEL II  
ACUAN SPESIFIKASI ANTENA MIKROSTRIP BOW-TIE [7]

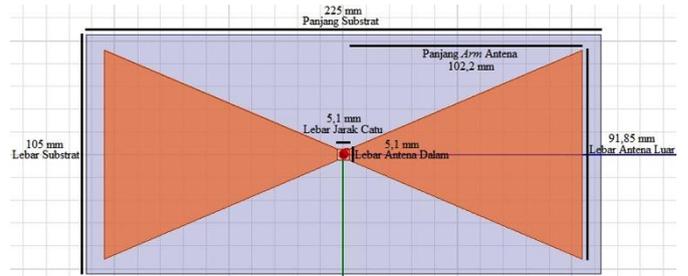
Spesifikasi Antena Referensi	Nilai
Frekuensi Resonansi	433 MHz
<i>Return Loss</i>	-10 dB
<i>Bandwidth</i>	> 90 MHz
Pola Radiasi	<i>Omnidirectional</i>
<i>Input Impedance</i>	50 $\Omega$



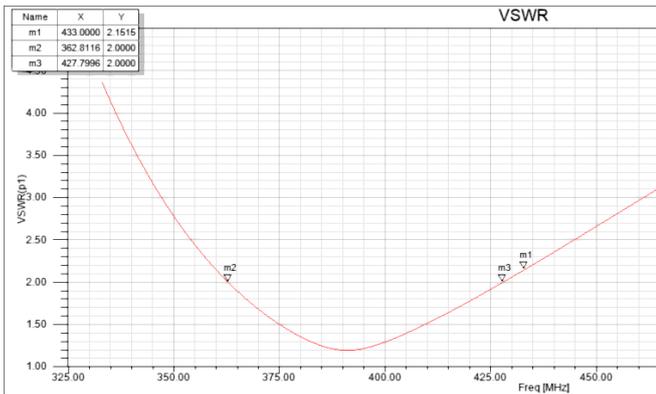
Gambar 3 Acuan dimensi antena mikrostrip *bow-tie* [7]



Gambar 4 Contoh validation check yang telah dilakukan



Gambar 6 Dimensi Antena Mikrostrip Bow-tie Hasil Optimalisasi



Gambar 5 Hasil simulasi VSWR antena

VSWR di atas 2,00 yang berarti ada daya yang terpantulkan sebesar 10% [4]. Antena memiliki VSWR di bawah 2,00 pada frekuensi 362 MHz sampai 427 MHz.

### C. Optimalisasi Rancangan Antena Mikrostrip Bow-tie

#### 1) Simulasi Dimensi Antena

Optimalisasi rancangan antena dilakukan karena antena masih memiliki nilai VSWR di atas 2,00. Langkah optimalisasi dilakukan dengan mengubah dimensi antena yang dimulai dari dimensi substrat sampai dengan bentuk dimensi patch bow-tie antena. Hasil optimalisasi terhadap dimensi antena ini diperlihatkan pada Gambar 6. Antena dioptimalisasi menggunakan substrat FR-4 Epoxy dengan nilai  $\epsilon_r$  sebesar 4,4. Nilai VSWR yang dihasilkan setelah proses optimalisasi adalah 1,1. Dimensi antena mikrostrip bow-tie yang telah dioptimalisasi menjadi relatif lebih kecil dari ukuran semula. Perbandingan dimensi antena mikrostrip bow-tie sebelum dan sesudah optimalisasi ditunjukkan pada Tabel III.

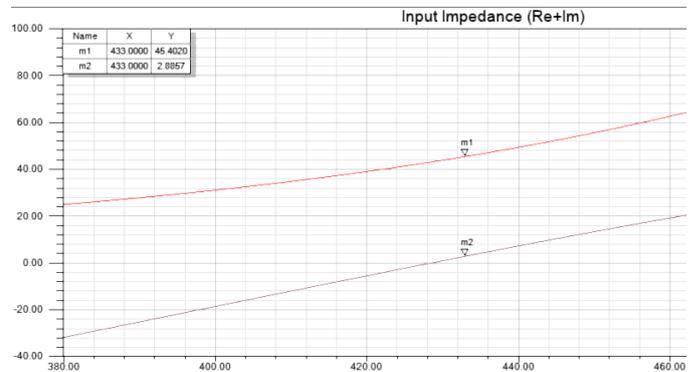
#### 2) Simulasi Impedansi Masukan Antena

Hasil simulasi terhadap impedansi masukan antena ditunjukkan pada Gambar 7. Terdapat dua buah garis di mana pada tiap garis tersebut diberikan dua buah tanda, yaitu m1 dan m2. Garis merah yang diberi tanda m1 menyatakan garis impedansi resistif ( $R_A$ ) dan garis ungu yang diberi tanda m2 menyatakan garis impedansi reaktansi ( $X_A$ ). Masing-masing tanda m1 dan m2 memiliki dua buah parameter x dan y yang

TABEL III

PERBANDINGAN DIMENSI ANTENA REFERENSI DAN OPTIMALISASI

Parameter Dimensi	Nilai Antena Referensi	Nilai Antena Optimalisasi
Panjang Substrat	250 mm	225 mm
Lebar Substrat	120 mm	105 mm
Panjang Arm Antena	122 mm	102,2 mm
Lebar Antena Luar	95,8 mm	91,85 mm
Lebar Antena Dalam	5,1 mm	5,1 mm
Lebar Jarak Catu	5,1 mm	5,1 mm



Gambar 7 Hasil simulasi impedansi masukan antena

masing-masing merepresentasikan nilai frekuensi (x) dan nilai impedansinya (y). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa pada frekuensi 433 MHz nilai impedansi resistif antena ( $R_A$ ) adalah 45,4 Ohm dan nilai impedansi reaktansi antena ( $X_A$ ) adalah 2,8 (bilangan imajiner).

#### 3) Simulasi VSWR dan Bandwidth Antena

Pada Gambar 8 ditunjukkan hasil VSWR yang diperoleh dari simulasi. Terdapat garis merah yang diberi tiga buah tanda yaitu m1, m2, dan m3. Setiap tanda tersebut memiliki dua buah parameter x dan y yang masing-masing merepresentasikan nilai frekuensi (x) dan nilai VSWR (y). VSWR yang ditunjukkan pada frekuensi 433 MHz oleh tanda m1 adalah 1,1. Tanda m2 dan m3 menunjukkan frekuensi yang memiliki nilai VSWR kurang dari 2,00. Tanda m2 adalah frekuensi terendah ( $f_L$ ) pada 398 MHz dan tanda m3 adalah frekuensi tertinggi ( $f_H$ ) pada 484 MHz. Berdasarkan data tersebut, maka bandwidth antena dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini [12]:

$$BW = f_H - f_L \quad (10)$$

Bandwidth antenna diperoleh sebesar 86 MHz.

4) Simulasi Return Loss Antena

Hasil simulasi *return loss* antena ditunjukkan pada Gambar 9. Terdapat garis merah yang diberi tanda *m1* di mana pada tanda tersebut terdapat parameter *x* dan *y* yang merepresentasikan nilai frekuensi (*x*) dan *return loss* (*y*). Pada frekuensi 433 MHz memiliki nilai *return loss* sebesar -24 dB.

5) Simulasi Gain Total Antena

Hasil simulasi *gain* antena ditunjukkan pada Gambar 10. *Gain total* digambarkan beserta dengan gambar radiasi yang dipancarkan dalam bentuk tiga dimensi. Radiasi yang digambarkan dengan warna merah secara keseluruhan memiliki nilai *gain* tertinggi sebesar 1,9 dB. Nilai *gain* tersebut merupakan nilai *gain* total dari intensitas radiasi antena yang memancar ke arah sumbu *x* dan sumbu *z* atau menyebar ke segala arah (*omnidirectional*).

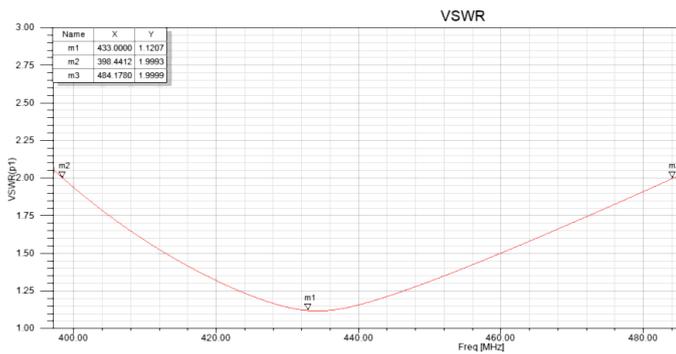
6) Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena

Hasil simulasi pola radiasi antena ditunjukkan pada Gambar 11. Terdapat dua buah garis yang berwarna merah dan ungu. Garis yang berwarna merah merupakan bentuk pola radiasi antena yang dilihat dari arah vertikal (*azimuth*), sedangkan garis yang berwarna ungu merupakan bentuk

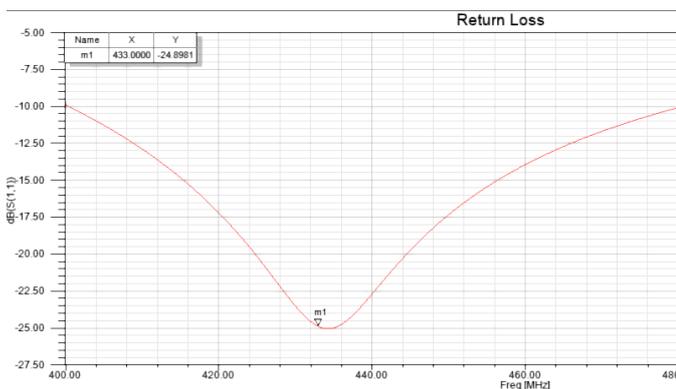
pola radiasi yang dilihat dari arah horizontal (*elevasi*). Jika dilihat dari arah vertikal, pola radiasi antena berbentuk lingkaran dan jika dilihat dari arah horizontal, pola radiasi antena terlihat memiliki dua buah *main lobe* yang memiliki bentuk dan luas yang simetris.

7) Hasil Simulasi Antena Menggunakan Substrat FR-4 Epoxy  $\epsilon_r$  4,6

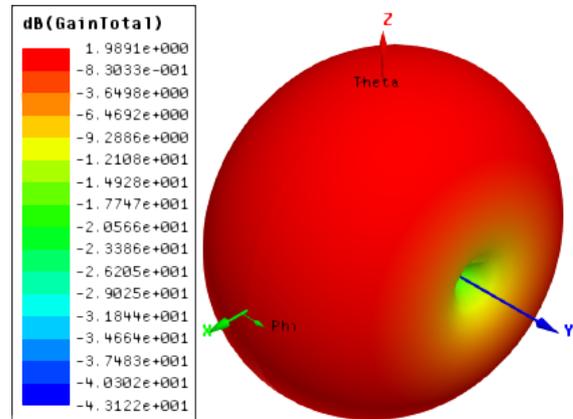
Simulasi antena dilakukan menggunakan substrat FR-4 Epoxy dengan nilai  $\epsilon_r$  sebesar 4,6. Nilai  $\epsilon_r$  tersebut dipilih karena bahan substrat FR-4 Epoxy dengan nilai  $\epsilon_r$  sebesar 4,4 tidak tersedia di pasar. Untuk itu, simulasi ini juga dilakukan untuk mengetahui perbedaan hasil simulasi antena menggunakan substrat FR-4 Epoxy dengan  $\epsilon_r$  sebesar 4,4 dengan substrat FR-4 Epoxy dengan nilai  $\epsilon_r$  sebesar 4,6. Simulasi dilakukan pada frekuensi yang sama, yaitu 433 MHz, dan dengan nilai-nilai dimensi antena yang sama. Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk tabel perbandingan pada Tabel IV.



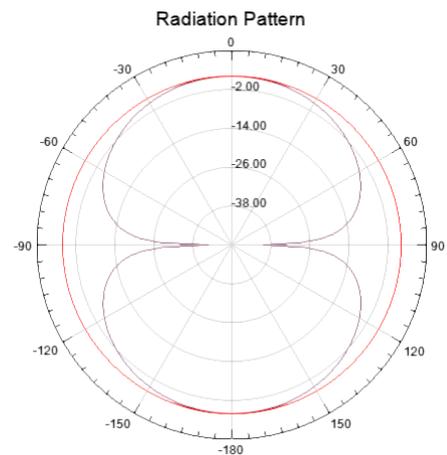
Gambar 8 Hasil simulasi VSWR dan bandwidth antena



Gambar 9 Hasil simulasi return loss antena



Gambar 10 Hasil simulasi gain antena



Gambar 11 Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena

Dari Tabel IV tersebut dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan dari penggunaan bahan substrat FR-4 Epoxy dengan nilai  $\epsilon_r$  yang berbeda. Pada substrat dengan  $\epsilon_r$  sebesar 4,6 hasil simulasi VSWR dan *return loss* menjadi lebih buruk, namun *gain* mengalami kenaikan. Adanya perbedaan ini masih dianggap layak untuk diterima karena VSWR yang dihasilkan sebesar 1,3 masih memiliki *match efficiency* sebesar 98%.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Realisasi Antena Mikrostrip Bow-Tie

Realisasi antena mikrostrip *bow-tie* dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu menentukan bahan substrat antena, melakukan pencetakan atau *etching* dari desain antena pada bahan substrat yang dipilih, dan terakhir adalah menentukan jenis kabel *coaxial* dan konektornya sebagai pencatu antena. Setelah realisasi, antena siap diukur di laboratorium.

Antena mikrostrip *bow-tie* direalisasikan menggunakan substrat FR-4 Epoxy dengan bagian tembaga pada satu sisi atau *single layer*. Substrat FR-4 Epoxy yang digunakan memiliki spesifikasi: permitivitas dielektrik relatif ( $\epsilon_r$ ) sebesar 4,6 yang banyak tersedia di pasar, ketebalan substrat ( $h$ ) 1,6 mm, dan ketebalan konduktor ( $t$ ) 0,03 mm.

Gambar desain antena yang telah dirancang pada perangkat lunak simulasi antena disimpan dalam format *file* bertipe *dxf* (*drawing exchange format*) yang merupakan format *file* dari CAD. Dengan menggunakan CAD desain antena mikrostrip dapat dicetak dengan skala 1:1 pada film negatif yang nantinya digunakan untuk proses *etching* pada substrat antena. Proses *etching* dilakukan di tempat pencetakan PCB.

Antena mikrostrip *bow-tie* dicatu dengan metode pencatuan langsung, yaitu dengan mencatukan secara langsung kedua lapis tembaga antena *bow-tie* dengan kabel *coaxial* berimpedansi 50 Ohm. Antena juga menggunakan sebuah konektor yang dipasang pada salah satu ujung kabel *coaxial*. Konektor yang digunakan berjenis SMA *female* agar ketika pengukuran nanti antena dapat dengan mudah dihubungkan ke alat pengukuran antena, *network analyzer* dan *spectrum analyzer*. Bagian *inner* atau *core* dari *coaxial cable* dihubungkan (*disolder*) ke salah satu lempeng tembaga antena, sedangkan bagian *outer* atau *ground* dari *coaxial cable* dihubungkan ke lempeng tembaga yang lain atau yang berseberangan dengan *score* dari *coaxial cable* tadi. Ketika menyolderkan kabel ke antena, perlu untuk berhati-hati karena jarak antara kabel *core* dan *ground* yang *disolder* harus tepat

di ujung kedua lempeng tembaga *patch* antena. Kerapian dan ketelitian dalam menyolder kabel ke antena dapat mempengaruhi hasil VSWR-nya. Hasil realisasi antena mikrostrip *bow-tie* yang telah dipasang pencatu ditunjukkan pada Gambar 12.

#### B. Pengukuran Antena Mikrostrip Bow-Tie

Pengukuran antena mikrostrip *bow-tie* yang dilakukan meliputi pengukuran VSWR, *return loss*, *bandwidth*, impedansi masukan, *gain*, pola radiasi, dan polarisasi antena. Untuk pengukuran VSWR, *return loss*, *bandwidth*, dan impedansi masukan antena digunakan alat yang bernama *network analyzer*. Pengukuran dengan menggunakan *network analyzer* dilakukan dengan menghubungkan secara langsung antena yang diukur ke *network analyzer*. Hasil pengukurannya dapat dilihat langsung pada layar monitor *network analyzer*. Untuk pengukuran *gain*, pola radiasi, dan polarisasi antena diperlukan antena pembanding (antena referensi) dan dua buah alat yang bernama *signal generator* dan *spectrum analyzer* untuk melihat hasil pengukurannya.

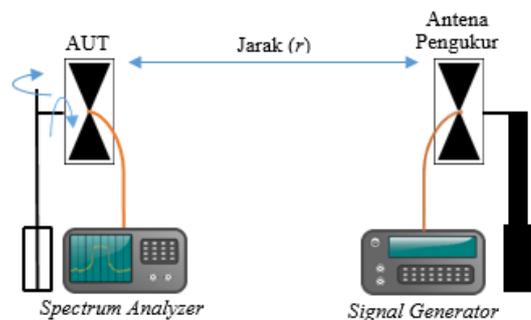
Pengukuran *gain*, pola radiasi, dan polarisasi antena menggunakan teknik pengukuran dua antena. Teknik pengukuran dua antena membutuhkan dua buah antena, yaitu antena pengukur dan antena yang diukur atau AUT (*antenna under test*) dengan spesifikasi yang sama. Teknik pengukuran dua buah antena ini dilakukan dengan memposisikan dua buah antena, yaitu antena pengukur dan antena yang diukur (AUT), secara berhadapan. Seperti yang ditampilkan pada Gambar 13, antena pengukur dihubungkan ke *signal generator*, sedangkan AUT dihubungkan ke *spectrum analyzer*. *Signal generator* digunakan untuk mengirimkan daya yang melalui antena pengukur, sedangkan *spectrum analyzer* yang terhubung pada AUT digunakan untuk menampilkan kuat sinyal yang diterima.



Gambar 12 Hasil realisasi antena mikrostrip *bow-tie*

TABEL IV  
PERBANDINGAN HASIL SIMULASI DENGAN NILAI  $\epsilon_r = 4,6$

Parameter	Simulasi $\epsilon_r = 4,4$	Simulasi $\epsilon_r = 4,6$
VSWR	1,12	1,3
Return Loss	-24,8 dB	-16,2 dB
Bandwidth	86 MHz	80 MHz
Impedansi Masukan	45,4 $\Omega$	37,6 $\Omega$
Gain	1,98 dB	2,18 dB
Pola Radiasi	Omnidirectional	Omnidirectional
Polarisasi	Circular	Circular



Gambar 13 Skenario pengukuran antena mikrostrip *bow-tie*

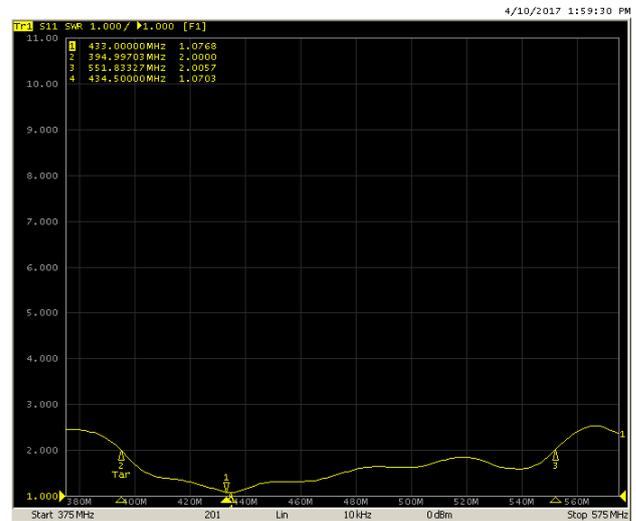
1) Pengukuran VSWR, Return Loss, Bandwidth, dan Impedansi Masukan Antena

Pengukuran VSWR, *return loss*, *bandwidth*, dan impedansi masukan antena menggunakan *network analyzer* yang hasilnya ditampilkan berupa grafik. Antena dengan nilai VSWR yang lebih baik akan dijadikan antena yang diukur (AUT), dan antena lainnya dijadikan antena pengukur. Setelah itu, AUT digunakan untuk mengukur *gain*, pola radiasi, dan polarisasi antena.

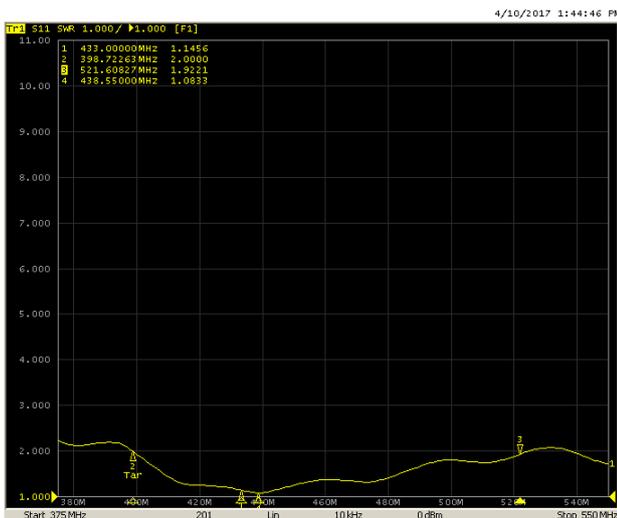
Antena pertama yang ingin diukur disebut Antena1 dan antena kedua yang ingin diukur disebut Antena2. Agar tidak tertukar antara Antena1 dan Antena2, maka diberi label nama. Hasil pengukuran VSWR pada Antena1 ditampilkan pada Gambar 14. Terdapat 4 buah tanda pada grafik VSWR tersebut, yaitu tanda 1, 2, 3, dan 4. Tanda 1 adalah VSWR pada frekuensi 433 MHz, tanda 2 adalah VSWR = 2 pada frekuensi terendah, yaitu 398 MHz, tanda 3 adalah untuk VSWR = 2 pada frekuensi tertinggi, yaitu 521 MHz, dan tanda 4 adalah VSWR terkecil, yaitu 1,08 yang berada pada frekuensi 438 MHz. Pada tanda 1, VSWR pada frekuensi 433 MHz adalah 1,14, sehingga dapat disimpulkan bahwa pada Antena1 VSWR yang diperoleh adalah 1,1. Hasil pengukuran VSWR Antena2 ditunjukkan pada Gambar 15. Pada gambar tersebut terlihat ada tanda 1 pada frekuensi 433 MHz memiliki nilai VSWR sebesar 1,07. Pada VSWR = 2 frekuensi terendah sebesar 394 MHz dan frekuensi tertinggi sebesar 551 MHz. Hasil VSWR Antena2 yang ditunjukkan pada Gambar 15 memiliki nilai VSWR yang lebih rendah dibandingkan dengan Antena1, yaitu sebesar 1,07. Oleh karena itu, dengan diperolehnya nilai VSWR yang lebih baik, maka Antena2 dijadikan AUT.

Hasil pengukuran *return loss* pada Antena1, ditunjukkan pada Gambar 16, pada frekuensi 433 MHz memiliki nilai -23,3 dB dan pada Antena2, ditunjukkan pada Gambar 17, pada frekuensi yang sama memiliki nilai -28,6 dB.

Hasil pengukuran impedansi masukan pada Antena1 ditunjukkan pada Gambar 18. Pada Gambar 18 tersebut terlihat tanda 1 yang menunjukkan nilai impedansi masukan pada frekuensi 433 MHz dengan nilai impedansi resistif dan nilai impedansi reaktansi kapasitif atau induktif. Nilai impedansi resistif yang dihasilkan pada Antena1 adalah 57,1  $\Omega$  dan nilai reaktansinya adalah -1,03  $\Omega$  yang berarti memiliki nilai kapasitansi sebesar 353,68 pF. Hasil pengukuran impedansi masukan pada Antena2 ditunjukkan pada Gambar 19. Tanda 1 yang terlihat pada Gambar 19 menunjukkan nilai impedansi masukan resistif sebesar 50,4  $\Omega$  dan nilai impedansi masukan reaktansi sebesar -3,69  $\Omega$  yang artinya memiliki kapasitansi sebesar 99,5 pF. Nilai impedansi masukan pada Antena2 lebih baik dibandingkan dengan Antena1. Hal ini disebabkan impedansi resistif Antena2 memiliki nilai 50  $\Omega$  yang berarti adanya *matching* sempurna antara impedansi masukan antena dengan saluran transmisi yang memiliki impedansi sebesar 50  $\Omega$ .



Gambar 15 Hasil VSWR Antena2



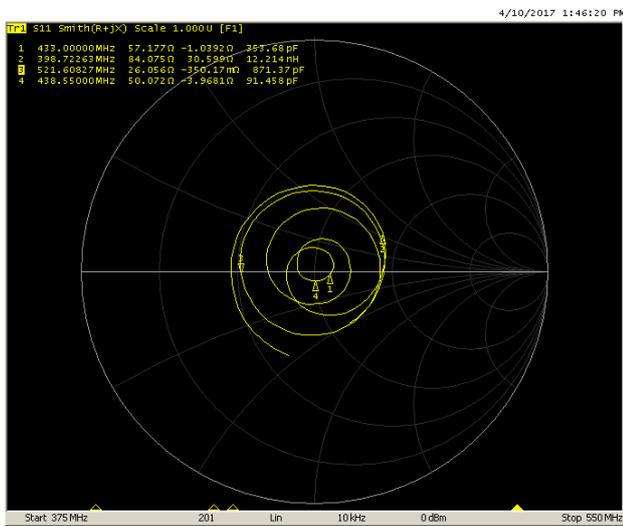
Gambar 14 Hasil VSWR Antena1



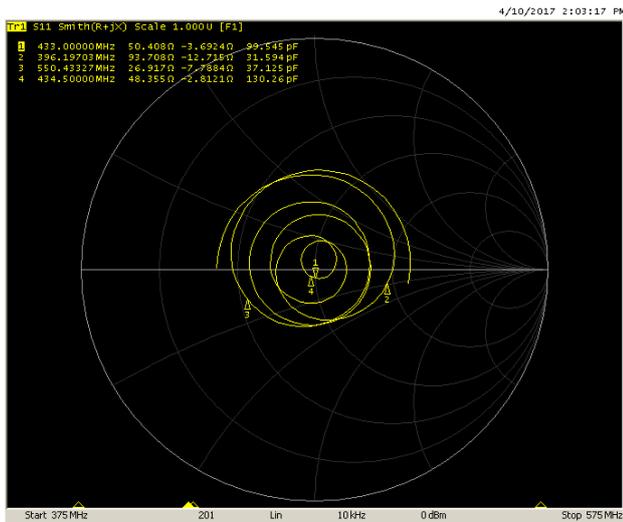
Gambar 16 Hasil *return loss* Antena1



Gambar 17 Hasil return loss Antena2



Gambar 18 Hasil impedansi masukan Antena1



Gambar 19 Hasil impedansi masukan Antena2

### 2) Pengukuran Gain Antena

Pengukuran gain antena dilakukan menggunakan metode pengukuran dua buah antena, di mana antena pengukur adalah Antena1 dan antena yang diukur (AUT) adalah Antena2. AUT yang dihubungkan dengan spectrum analyzer dan diukur daya yang diterimanya dalam dBm.

Persamaan 10 digunakan untuk menghitung gain antena dalam dBi. Pada persamaan tersebut terdapat parameter, seperti  $\pi$ , di mana  $\pi$  adalah 3,14, jarak pengukuran antena ( $r$ ) sebesar 0,8 m, panjang gelombang antena ( $\lambda$ ) sebesar 0,69 m,  $W_{Tx}$  yang merupakan daya pancar antena pengirim sebesar 1 mW, dan  $W_{Rx}$  yang merupakan rata-rata daya terima AUT sebesar 0,012 mW. Setelah dihitung dengan persamaan 10, maka diperoleh gain antena AUT adalah sebesar 2,05 dBi.

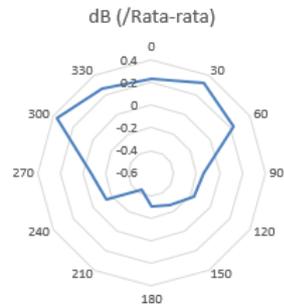
$$G_{(dBi)} = \frac{1}{2} \left[ 20 \log \frac{4\pi r}{\lambda} + 10 \log \frac{W_{Rx}}{W_{Tx}} \right] \quad (11)$$

### 3) Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena

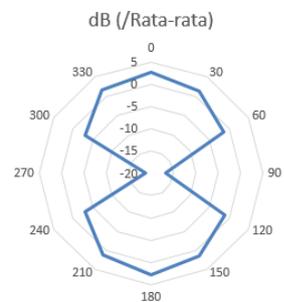
Pengukuran pola radiasi antena dilakukan dengan cara memutar antena yang diukur (AUT) pada arah azimuth dan elevasi. AUT diputar pada arah sudut azimuth untuk mengetahui pola radiasi antena jika dilihat dari atas (vertikal), seperti yang ditampilkan pada Gambar 20, dan diputar pada arah sudut elevasi untuk mengetahui pola radiasi antena jika dilihat dari samping (horizontal), seperti yang ditampilkan pada Gambar 21.

### 4) Pengukuran Polarisasi Antena

Pengukuran polarisasi antena dilakukan dengan memutar antena yang diukur (AUT) dengan arah putar sudut axial ke arah jarum jam. Antena diukur untuk memperoleh nilai axial



Gambar 20 Hasil Pola Radiasi Azimuth (dB)

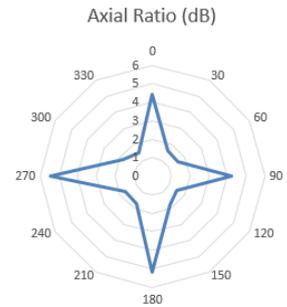


Gambar 21 Hasil Pola Radiasi Elevasi (dB)

ratio pada area sudut yang memiliki nilai *magnitude* terbesar dengan area sudut yang memiliki nilai *magnitude* terkecil. Nilai *axial ratio* digambarkan sebagai polarisasi antenna, seperti ditunjukkan pada Gambar 22. Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa polarisasi antenna yang diukur memiliki jenis polarisasi *circular*.

5) Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena

Hasil simulasi dan hasil pengukuran digunakan untuk menganalisis apakah terdapat perbedaan yang signifikan saat antenna masih dalam rancangan simulasi dan saat antenna sudah direalisasikan. Perbandingan hasil simulasi dengan hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel V.



Gambar 22 Hasil polarisasi axial (dB)

IV. KESIMPULAN

Antena yang dicetak dengan menggunakan substrat FR-4 Epoxy yang mempunyai nilai  $\epsilon_r$  sebesar 4,6 memiliki hasil pengukuran yang lebih baik dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan substrat FR-4 Epoxy dengan  $\epsilon_r$  sebesar 4,4. Terjadi perbedaan VSWR di antara kedua antenna yang dibuat sebesar 1,07. Kemungkinan penyebabnya adalah kerapian dalam menyolderkan antenna ke kabel coaxial. Antena memiliki *bandwidth* yang lebar, yaitu sebesar 154 MHz dengan rentang frekuensi dari 396 MHz sampai dengan 550 MHz. Dengan begitu antenna dapat memanfaatkan secara penuh spektrum frekuensi radio amatir pada rentang frekuensi 420 MHz sampai dengan 450 MHz. Dengan *bandwidth* yang lebar tersebut, antenna dapat memiliki *data rate* yang tinggi dan sangat cocok digunakan sebagai antenna WSN. Antena juga menghasilkan pola radiasi *omnidirectional*. Hal ini telah memenuhi persyaratan rancangan dan juga tuntutan perangkat WSN agar dapat ditempatkan di mana saja.

Pengembangan lebih lanjut dari antenna dalam penelitian ini adalah meningkatkan *gain* antenna. Antena yang dihasilkan masih memiliki *gain* yang relatif rendah, yaitu 2,05 dBi. Apabila *gain* antenna dapat lebih tinggi dengan tetap mempertahankan karakteristik *omnidirectional*-nya, maka perangkat WSN nantinya dapat mentransmisikan data dengan daya yang lebih rendah untuk jangkauan yang lebih jauh.

Pengembangan juga dapat dilakukan terhadap dimensi antenna. Kekurangan lain dari antenna mikrostrip bow-tie ini, yaitu antenna masih memiliki dimensi yang relatif besar. Jika antenna dapat dioptimalisasi agar memiliki dimensi yang lebih kecil maka akan cocok dengan peralatan WSN yang berukuran kecil.

DAFTAR REFERENSI

[1] "Wireless Sensor Network Topologies and Mesh Networking," (2010, Mar. 26) [On-line]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/11211/en/> [Oct. 19, 2016].

[2] J. I. Chakravarthy, P. S. Akram, T. V. Ramana. (2013, Nov), "Design of bowtie antenna for wideband applications." *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*. [On-line]. 2(11). Available: [www.ijareeie.com](http://www.ijareeie.com) [Oct. 19, 2016].

[3] K. Siakavara. (2011, Apr). "Methods to design microstrip antennas for modern applications", Intech. [On-line]. Available: <http://www.intechopen.com> [Oct. 26, 2016].

TABEL V  
PERBANDINGAN HASIL SIMULASI DENGAN HASIL PENGUKURAN

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Frekuensi pada VSWR Terendah	445,7 MHz	434,5 MHz
VSWR	1,3	1,07
Return Loss	-16,2 dB	-28,6 dB
Bandwidth	80 MHz	154 MHz
Impedansi Masukan	37,6 $\Omega$	50,4 $\Omega$
Gain	2,18 dB	2,05 dB
Pola Radiasi	Omnidirectional	Omnidirectional
Polarisasi	Circular	Circular

[4] G. W. M. Whyte. "Antennas for Wireless Sensor Networks Applications." Ph.D. thesis, Dept. Electron. and Comm. Eng., University of Glasgow, Scotland, 2008. [On-line]. Available: <http://theses.gla.ac.uk> [Nov. 4, 2016].

[5] G. W. M. Whyte. "Antennas for Wireless Sensor Networks Applications." Ph.D. thesis, Dept. Electron. and Comm. Eng., University of Glasgow, Scotland, 2008. [On-line]. Available: <http://theses.gla.ac.uk> [Nov. 4, 2016].

[6] S. Srivastava, V. K. Singh. (2014, Jan), "Bow-tie shaped printed antenna for UMTS/WLAN/WiMAX applications." *Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology*. [On-line]. 3(1) Available: <https://www.researchgate.net> [Oct. 30, 2016].

[7] A. Abdou, A. Shaw, A. Mason, A. Al-Shamma'a, J. Cullen, S. Wylie, M. Diallo. (2013), "A matched bow-tie antenna at 433 MHz for use in underwater wireless sensor networks." *Journal of Physics*. [On-line]. 450(1). Available: <http://iopscience.iop.org> [Oct. 17, 2016].

[8] D. Angela, T. A. Nugroho, B. T. P. Gultom, and Y. Yonata, "Perancangan Sensor Kecepatan dan Arah Angin Untuk Automatic Weather Station (AWS)," *Jurnal Telematika ITHB*, vol. 12, No. 1, pp. 97-105, 2018.

[9] B. Harchandra, R. Singh. (2014, Dec), "Analysis and design of bowtie antenna with different shapes and structures." *International Journal of Engineering Trends and Technology*. [On-line]. 18(4) Available: <http://www.ijettjournal.org> [Oct. 30, 2016].

[10] Antoo, C. Raj. (2016, March), "Performance of different bow tie antenna in fresh water." *International Journal of Research in Computer and Communication Technology*. [On-line]. 5(3). Available: [www.ijrcct.org](http://www.ijrcct.org). [Nov. 4, 2016].

[11] Hidayat. "Perancangan Antena Bow-tie Mikrostrip Pada Frekuensi 1.6 GHz Untuk Sistem Ground Penetrating Radar (GPR)." S.T. skripsi, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro, Universitas Darma Persada, Jakarta, 2015. [On-line]. Available: <http://www.slideshare.net> [Oct. 30, 2016].

[12] C. A. Balanis. "Microstrip Antennas," in *Antenna Theory – Analysis and Design*, 3<sup>rd</sup>, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005, pp. 811-876.

**Dina Angela**, menyelesaikan S1 Jurusan Teknik Elektro bidang Telekomunikasi di Universitas Kristen Maranatha pada 1999 dan S2 Jurusan Teknik Elektro bidang Telekomunikasi di Institut Teknologi Bandung pada 2003. Bidang penelitian: antena dan propagasi dan sistem komunikasi.

**Helmi Indra Hartanto**, kelahiran Cianjur 1991, menyelesaikan D3 Jurusan Teknik Komputer bidang *Network Engineering* di Universitas Telkom pada 2014 dan S1 Jurusan Teknologi Informasi bidang *Mobile Technology* di Institut Teknologi Harapan Bangsa pada 2017. Bidang penelitian: sistem telekomunikasi seluler dan jaringan komputer.