

**PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA MIKROSTRIP *PATCH*  
BERBENTUK *L ARRAY* PADA FREKUENSI 9,4 GHz UNTUK APLIKASI  
RADAR CUACA**

***DESIGN AND REALIZATION ARRAY L-SHAPED PATCH MICROSTRIP  
ANTENNA AT 9,4 GHz FREQUENCY FOR WEATHER RADAR  
APPLICATION***

Fajar Gunawan<sup>1</sup>, Levy Olivia Nur<sup>2</sup>, Edwar<sup>3</sup>

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[Fajargunawan@student.telkomuniversity.ac.id](mailto:Fajargunawan@student.telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup>[levvolivia@telkomuniversity.ac.id](mailto:levvolivia@telkomuniversity.ac.id),  
<sup>3</sup>[edwarm@telkomuniversity.ac.id](mailto:edwarm@telkomuniversity.ac.id)

**Abstrak**

Tingkat curah hujan yang tinggi yang dapat menimbulkan dampak negatif jika tidak ditanggulangi dengan cepat dan tepat maka pada penelitian ini dibuat sebuah antena Radar cuaca dimana patch yang dirancang tersebut berbentuk *L* pada frekuensi *X band* yaitu pada 9,4 GHz, dimana penelitian sebelumnya sudah dirancang antena mikrostrip pada frekuensi *X band* dengan susunan linier. Sedangkan pada penelitian ini dirancang antena mikrostrip berbentuk *L array* pada frekuensi 9,4 GHz supaya didapatkan resolusi yang lebih bagus, dapat mendeteksi partikel-partikel yang lebih kecil dengan sensitifitasnya yang lebih tinggi, dimana frekuensi *X band* jaraknya jauh lebih dekat ke target. Dengan metode *array*, *matching impedance* dan *slot* supaya didapatkan spesifikasi yang diinginkan. Dimana, hasil parameter-parameter yang diinginkan dari antena tersebut, diantaranya : memiliki  $VSWR \leq 2$ ,  $return\ loss \leq -10\ dB$ ,  $gain \geq 10\ dBi$ ,  $bandwidth \geq 60\ MHz$ , Pola Radiasi Unidireksional.

**Kata Kunci :** Antena Mikrostrip, Radar cuaca, *X-band*, *Array*

**Abstract**

High rainfall levels that can cause negativity if not addressed quickly and precisely, in this study, patch traffic Radar antennas are designed according to the *X band* frequency, namely at 9.4 GHz, where studies that have previously been designed microstrip antenna in *X band* type with linear arrangement. While in this study designed an *L array* microstrip antenna at a frequency of 9.4 GHz obtained better resolution, can test smaller particles with higher sensitivity, while the *X band* frequency is higher on target. With the *array* method, *matching impedances* and *slots* obtained the desired specifications. Where, the desired parameters from the antenna are expected to have  $VSWR \leq 2$ ,  $return\ loss \leq -10\ dB$ ,  $gain \geq 10\ dBi$ ,  $\geq 60\ MHz$  Bandwidth, Unidirectional Radiation Pattern.

**Keywords:** Microstrip antenna, weather radar, *X-band*, *array*

**1. Pendahuluan**

Karena curah yang tinggi di Indonesia, maka dibuatlah antena yang digunakan pada aplikasi radar cuaca sebagai langkah antisipasi jika terjadi curah hujan tinggi atau meminimalisir resiko terjadi curah hujan yang tinggi tersebut. Pada penelitian sebelumnya sudah dibuat antena mikrostrip *patch rectangular* susunan *linier X band* untuk radar cuaca, dimana  $gain$  yang diharapkan dapat mencapai  $\geq 10\ dBi$ [5]. Dan penelitian ini dibuat antena mikrostrip *patch* berbentuk *L array* pada frekuensi 9,4 GHz untuk radar cuaca, dimana dalam perancangan ini memakai metode Wilkinson Power Divider dalam *matching impedance* dan *T-junction* 50 ohm, sehingga konektornya hanya satu saja, sedangkan pada perancangan sebelumnya memasang konektor di setiap *single patch*nya. Kemudian metode yang digunakan adalah *array*, *matching impedance*, dan *slot*. Dimana metode *array* berfungsi untuk meningkatkan  $gain$  antena tersebut[4], *matching impedance* sebagai penghubung antar *patch* antena, dimana sangat penting dalam menentukan performansi antena tersebut[8], dan fungsi *slot* selain meningkatkan performansi antena juga dapat memperlebar *bandwidth*[9], dan meningkatkan nilai parameter lainnya supaya lebih baik[10]. Dalam perancangan ini spesifikasi yang sangat diperhatikan adalah  $gain \geq 10$

dBi, pola radiasi unidireksional dan polarisasi *elips*, sehingga fungsi metode *slotted patch* yang menjadikan bentuk *patch* menjadi L ini, selain memperlebar *bandwidth* dan meningkatkan *gain* ternyata juga dapat merubah pola radiasi dari bidireksional menjadi unidireksional. Kemudian untuk polarisasi antenna supaya dapat bekerja lebih baik dan lebih maksimal maka lebih baik pada polarisasi *linier* karena nilai *axial ration*nya lebih tinggi, dimana pada perancangan ini menghasilkan polarisasi *elips*, tetapi masih bisa diterapkan dalam aplikasi radar cuaca sesuai jurnal[2].

## 2. Dasar Teori

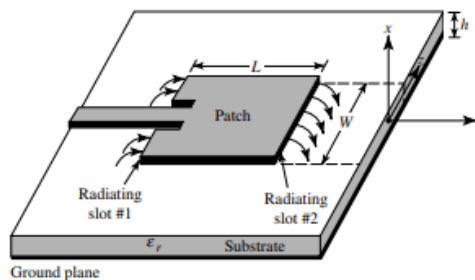
### 2.1 Radar Cuaca

Radio Detection and Ranging (RADAR) adalah perangkat aktif yang membawa pemancarnya sendiri dan tidak tergantung pada radiasi sekitar, seperti halnya sebagian besar sensor optik dan inframerah, dimana radar bisa mendeteksi target yang relatif kecil pada jarak dekat atau jauh dan dapat mengukur jangkauan mereka dengan presisi dalam segala cuaca, yang merupakan keunggulan utamanya bila dibandingkan dengan sensor lainnya. Salah satu tujuan utama dari radar cuaca adalah untuk memberikan peringatan tepat waktu dari fenomena cuaca buruk seperti tornado, angin yang merusak, dan banjir bandang.

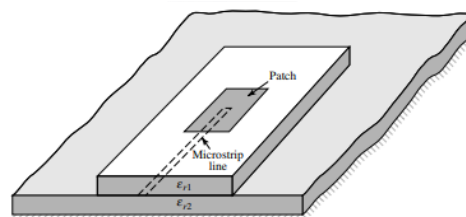
### 2.2 Frekuensi X band

Rentang frekuensi pada X band adalah 8 GHz sampai 12,5 GHz, dimana pita frekuensi ini populer untuk radar kontrol senjata (pelacakan) militer, aplikasi sipil, penginderaan cuaca, navigasi doppler dan lain sebagainya. Radar pada frekuensi ini umumnya berukuran nyaman dan karena itu menarik untuk aplikasi, dimana mobilitas dan bobotnya ringan sehingga sangat menguntungkan pengumpulan informasi seperti pada radar resolusi tinggi karena *bandwidth* yang lebar memungkinkan untuk menghasilkan pulsa pendek dan lebar sinar sempit yang bisa diperoleh dengan antenna ukuran relatif kecil[6]. Disini penulis melakukan perancangan pada frekuensi 9,4 GHz seperti jurnal[2].

### 2.3 Antena Mikrostrip dan Teknik Pencatuan



Gambar 1 Antena mikrostrip



Gambar 2 Proximity coupled feeding

Susunan elemen antena mikrostrip sebagai berikut[1]:

*Groundplane* berfungsi sebagai reflektor yang memantulkan sinyal yang diinginkan dan terbuat dari bahan konduktor. *Substrate* sebagai media penyalur gelombang elektromagnetik ke udara terletak paling atas dalam konstruksi antena, *Substrate* yang berfungsi sebagai bahan dielektrik untuk membatasi elemen peradiasi dengan elemen *ground*, *Patch* berfungsi sebagai elemen peradiasi yang terbuat dari logam dengan fungsi sebagai penghasil radiasi gelombang elektromagnetik.

### 2.4 Menentukan dimensi Patch Rectangular

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (1) \quad \Delta l = 0,412 h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \frac{W}{h} + 0.264}{(\epsilon_{reff} + 0.258) \frac{W}{h} + 0.8} \quad (2) \quad \epsilon_{reff} = \frac{(\epsilon_r + 1)}{2} + \frac{(\epsilon_r - 1)}{2} \left[ \frac{1}{1 + 12 \frac{h}{W}} \right] \quad (3)$$

$$l = l_{eff} - 2\Delta l \quad (4) \quad l_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (5)$$

$$W_f = \frac{W_0}{h} = \frac{2h}{\pi} \left[ \beta - 1 - \ln \left( - + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left( \ln(\beta - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right) \right) \right] \quad (6) \quad \beta = \frac{377\pi}{2Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (7)$$

$$L_f = \frac{\lambda_g}{4} \quad (8) \quad \lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (9) \quad L_g = 6h + L \quad (10) \quad W_g = 6h + W \quad (11)$$

Dimana :

$W$  = Lebar konduktor (mm),  $\epsilon_r$  = Konstanta dielektrik relative (V/m)

$c$  = kecepatan cahaya di ruang bebas ( $3 \times 10^8$  m/s),  $f_o$  = Frekuensi kerja antenna (Hz)

$\epsilon_{reff}$  = Konstanta dielektrik relatif efektif bahan substrate(V/m),  $\epsilon_r$ = Konstanta dielektrik relatif (V/m)

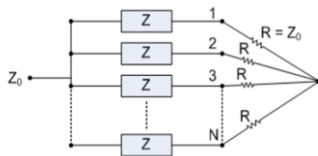
$h$  = Tebal *substrate* (mm),  $w$  = Lebar konduktor (mm),  $\beta$  = Besarnya impedansi pada saluran

$Z_o$ = Impedansi karakteristik ( $50 \Omega$ ),  $W_f$ = Lebar feedine,  $L_g$  = Panjang *Groundplane* dan *Substrate*

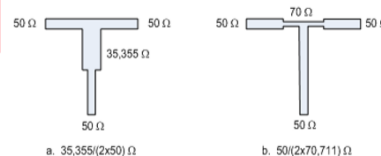
$W_g$  = Lebar *Groundplane* dan *Substrate*,  $h$  = tinggi *Substrate*

**2.6 Antena Array**

Salah satu teknik yang dapat mendukung impedance matching pada saluran transmisi khususnya untuk antenna mikrostrip array adalah *power divider* yang dapat dilihat pada gambar 2.5 dan *T- Junction* 50 ohm pada gambar 2.6[8].



**Gambar 3** Power Divider Metoda Wilkinson

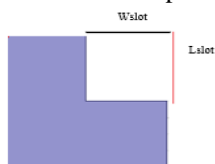


**Gambar 4** T- Junction 50 ohm

Jadi fungsi dari konfigurasi array ini adalah untuk meningkatkan *gain* dan direktivitas, antenna[11]. Ada beberapa metode *Array* diantaranya adalah *linier array*, *circular array*, dan *planar array* tetapi disini penulis menggunakan *linier array* dalam perancangan antenna.

**2.7 Slotted Patch**

Umumnya bentuk slot pada patch antenna berbagai macam diantaranya bentuk lingkaran, persegi panjang, maupun huruf[9]. Dimana pada penelitian ini diambil bentuk persegi, dikarenakan memiliki bentuk sederhana yang dapat meningkatkan *bandwidth* dan juga meningkatkan nilai parameter-parameter antenna lainnya menjadi lebih baik[10][12]. dimana  $W_{slot}$  dan  $L_{slot}$  merupakan setengah bagian dari *Patch* persegi panjang sesuai dengan gambar 2.7.



Dengan asumsi persamaan 2.21 dan persamaan 2.22 berikut.

$$W_{slot} = \frac{W}{2} \tag{2.21}$$

$$W_{slot} = L_{slot} \tag{2.22}$$

**Gambar 5** Patch Bentuk L

**3. Perancangan dan Simulasi Antena**

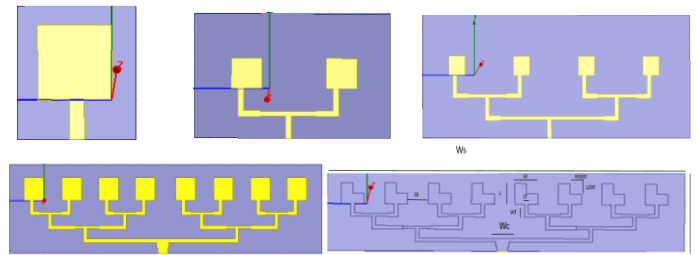
**3.1 Spesifikasi Antena**

Spesifikasi antenna dapat dilihat pada Tabel 3.1

**Tabel 1** Spesifikasi antenna

Indikator	Nilai
Frekuensi Tengah	9,4 GHz
Impedansi	$\pm 50 \Omega$
Bandwidth	$\geq 60$ Mhz
Gain	$\geq 10$ dBi
VSWR	$\leq 2$
Return Loss	$\leq -10$ dB
Polarisasi	Linier
Pola radiasi	Unidireksional

**3.2 Tahap Perancangan**



**Gambar 6** Bentuk perancangan simulasi

Dari gambar 6 diatas bahwa simulasi dilakukan dari single patch sampai *patch* berbentuk L array 1x8, dimana perhitungan dimensi antenna yang akan direalisasikan adalah antenna *patch* baerbentuk L array 1x8.

**3.2 Perhitungan Dimensi Antena Realisasi**

Perhitungan dimensi dapat dilihat pada tabel 3.4

**Tabel 2** Perhitungan dimensi *patch* berbentuk L 1x8

Dimensi antenna	Ukuran(mm)
Lebar <i>Patch</i> ( $W$ )	9
Panjang <i>Patch</i> ( $l$ )	8,3
Lebar <i>Ground Plane</i> ( $W_g$ )	16,47
Panjang <i>Ground Plane</i> ( $L_g$ )	16,47
Lebar <i>Striplane</i> ( $W_f$ )	3,8
Panjang <i>Striplane</i> ( $l_f$ )	1,6
Lebar <i>Ground Plane</i> 1x8( $W_s$ )	25,77
Panjang <i>Ground Plane</i> 1x8( $l_s$ )	65,88
Jarak antar elemen( $J_p$ )	16
Panjang <i>stripline</i> 70.7 ohm( $L_{sp}$ )	1,3
Panjang <i>Stripline</i> 35.3 ohm( $W_c$ )	5,8
Tinggi Substrate( $h$ )	1,6
Tinggi <i>Ground Plane</i> dan <i>Patch</i> ( $t$ )	0,035
Lebar <i>Slot</i> ( $W_{slot}$ )	4,9
Panjang <i>Slot</i> ( $l_{slot}$ )	4,1

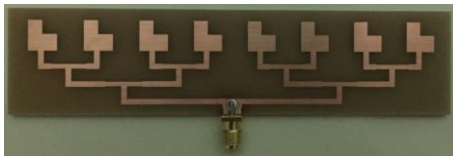
Dari perancangan antenna didapatkan perbandingan yang signifikan dimana dapat dilihat pada tabel 3.8.

**Tabel 3** Perbandingan simulasi

Indikator	Spesifikasi	Single patch rectangular optimasi	Patch rectangular 1x8 optimasi	Patch berbentuk L 1x8 optimasi
Frekuensi tengah	9,4 GHz	9,4 GHz	9,4 GHz	9,4 GHz
Impedansi	$\pm 50 \Omega$	$(35,365-j3055) \Omega$	$(47,255-j6,955) \Omega$	$(45,665+j10,27)\Omega$
Bandwidth	$\geq 60$ Mhz	448,40 MHz	332,60 MHz	402,6 MHz
Gain	$\geq 10$ dBi	6,47 dBi	10,05 dBi	12,37 dBi
VSWR	$\leq 2$	1,43	1,16	1,26
Return loss	$\leq -10$ dB	-15,01 dB	-22,30 dB	-18,72 Db
Polarisasi	Linier	Elips	Elips	Elips
Pola radiasi	Unidireksional	Unidireksional	Bidireksional	Unidireksional

**4.1 Realisasi antenna**

Bentuk antenna prototype yang dirancang dapat dilihat pada gambar 4.1 dan gambar 4.2



Gambar 7 Realisasi antenna tampak depan



Gambar 8 Realisasi antenna tampak belakang

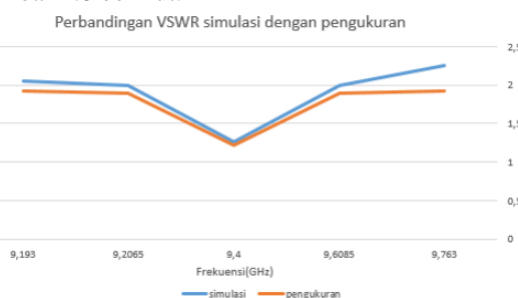
4.2 Pengukuran Antena

4.2.1 VSWR, return loss, bandwidth, Impedansi input

Dari hasil simulasi dan pengukuran parameter medan dekat dapat dilihat pada gambar 4.4, gambar 4.5, gambar 4.6, gambar 4.7, dan gambar 4.8 berikut.



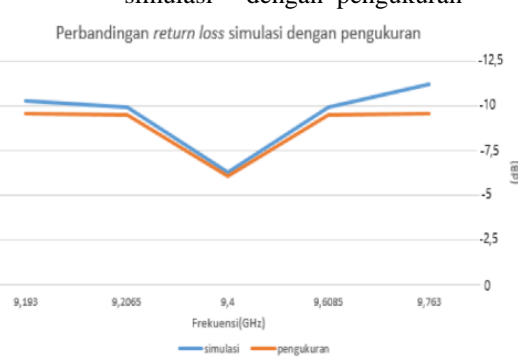
Gambar 9 Nilai VSWR pengukuran



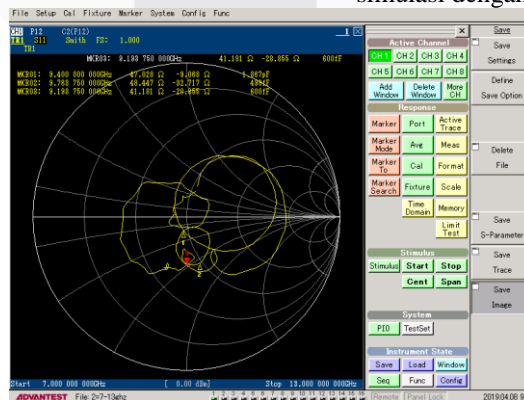
Gambar 10 Perbandingan nilai VSWR simulasi dengan pengukuran



Gambar 11 nilai return loss pengukuran



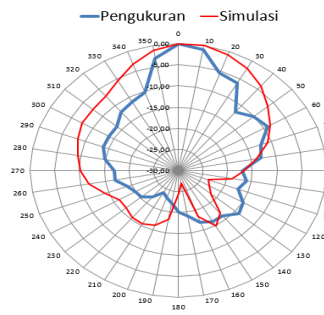
Gambar 12 Perbandingan nilai return loss simulasi dengan pengukuran



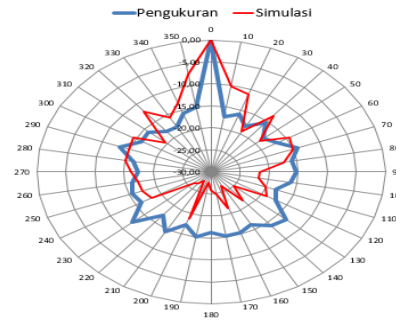
Gambar 13 Nilai impedansi input pengukuran

4.2.2 Pola radiasi, polarisasi, gain dari antenna.

Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran pola radiasi menunjukkan Unidireksional yang dapat ditunjukkan pada gambar 4.10 dan gambar 4.11

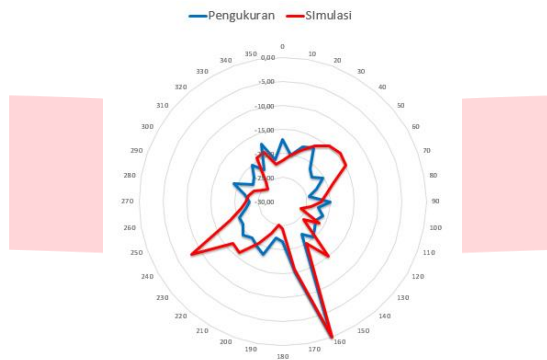


**Gambar 14** pola radiasi azimuth simulasi Dan pengukuran



**Gambar 15** Pola radiasi elevasi simulasi dan pengukuran

Untuk pengukuran polarisasi dapat dilihat perbandingan simulasi dengan pengukuran antenna sesuai pada gambar 4.12



**Gambar 16** Axial ratio pengukuran antenna

Sesuai Gambar di atas, dapat diketahui bahwa daya terima maksimum (sumbu mayor) sebesar -37,30 dBm sedangkan daya terima minimumnya (sumbu minor) sebesar -60,07 dBm sehingga untuk mendapatkan nilai Axial ratio dengan persamaan (4.1):

$$AR = \frac{Mayor}{Minor} = \frac{\sqrt{P_{watt_{mayor}} \times 377}}{\sqrt{P_{watt_{minor}} \times 377}} \tag{4.1}$$

Jadi dari rumus di atas dapat dihitung nilai Axial ratio , dimana :

$$P_{watt_{mayor}} = -37,30 \text{ dBm} = 1,86 \times 10^{-7} \text{ watt}$$

$$P_{watt_{minor}} = -60,07 \text{ dBm} = 9,8011 \times 10^{-10} \text{ watt}$$

Sehingga

$$AR = \frac{Mayor}{Minor} = \frac{\sqrt{1,86 \cdot 10^{-7} \times 377}}{\sqrt{9,8011 \cdot 10^{-10} \times 377}} = 13,77$$

Jadi Rasio kuat medan = 10log(13,77) = 11,389 dB

Dari hasil di atas menunjukkan polarisasi antenna hasil pengukuran adalah *elips*, karena 3 < AR < 40 merupakan polarisasi *elips*.

Dalam pengukuran *gain* antenna dapat dilihat pada tabel 4.2.

**Tabel 4** Hasil pengukuran *gain*

No	DayaTerima AUT(dBm)	Daya yang dikirimkan antenna referensi(dBm)
1	-36,43	-36,27
2	-36,49	-36,13
3	-36,53	-36,49
<b>Rata-rata</b>	-36,48	-36,296

Berdasarkan hasil pengukuran pada tabel 4.2 , perhitungan *gain* antenna dapat ditentukan dengan metode antenna referensi sesuai persamaan (4.1):

$$Gain(dBi) = G_{Ref}(dBi) + 10 \log \left( \frac{W_{Rx}}{W_{Tx}} \right) [dBref] \quad (4.1)$$

Dimana :

$Gain(dBi)$  = Penguatan antenna yang diuji.

$W_{Rx}$  = Daya terima antenna yang diuji dalam Watt sebagai penerima.

$W_{Tx}$  = Daya yang dikirimkan antenna referensi dalam Watt.

$G_{Ref}(dBi)$  = *Gain* antenna referensi dalam dBi di frekuensi 9,4 Ghz = 11,4 dBi.

Maka :

$$W_{Tx} = -36,48 \text{ dBm} = 2,24 \cdot 10^{-7} \text{ watt}$$

$$W_{Rx} = -36,296 \text{ dBm} = 2,34 \cdot 10^{-7} \text{ watt}$$

$$Gain(dBi) = 11,4 \text{ dBi} + 10 \log \left( \frac{2,24 \cdot 10^{-7} \text{ watt}}{2,34 \cdot 10^{-7} \text{ watt}} \right) [dBref] = 11,21 \text{ dBi}$$

**Tabel 5** Perbandingan Simulasi Dengan Pengukuran Antena

Indikator	Spesifikasi	Simulasi	Pengukuran
Frekuensi tengah	9,4 GHz	9,4 GHz	9,4 GHz
Impedance	$\pm 50 \Omega$	$(45,665 + j10,27) \Omega$	47,02 $\Omega$
<i>Bandwidth</i>	$\geq 60$ Mhz	402,6 MHz	570 MHz
<i>Gain</i>	$\geq 10$ dB	12,374 dBi	11,21 dBi
VSWR	$\leq 2$	1,26	1,21
Return Loss	$\leq -10$ dB	-18,72 dB	-20,18 dB
Polarisasi	<i>Linier</i>	<i>Elips</i>	<i>Elips</i>
Pola radiasi	Unidireksional	Unidireksional	Unidireksional

## 5. Kesimpulan dan saran

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil yang diperoleh baik dari hasil simulasi maupun hasil pengukuran , dapat ditarik kesimpulan bahwa pada hasil simulasi nilai VSWR antenna lebih tinggi dibandingkan pengukuran realisasi antenna tetapi sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan, dimana simulasi berada pada

1,26 sedangkan realisasi berada pada 1,21, Untuk nilai pengukuran realisasi *return loss* antena lebih bagus dibandingkan nilai simulasi antena tetapi sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan, dimana realisasi -20,18 sedangkan simulasi -18,72 dB, untuk nilai *bandwidth* antena realisasi lebih lebar dibandingkan simulasi, dimana nilai yang realisasi 570 MHz sedangkan simulasi 402,60 MHz, untuk nilai Impedansi berada pada 47,02  $\Omega$  sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan, untuk nilai *gain* antena realisasi lebih rendah dibandingkan antena simulasi, dimana simulasi 12,37 dBi sedangkan realisasi 11,21 dBi tetapi sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan, untuk nilai pola radiasi antena sudah memenuhi spesifikasi, dimana sudah unidireksional, untuk nilai polarisasi antena belum mencapai spesifikasi karena bentuk *slot* hanya dapat meningkatkan *bandwidth* dan sedikit meningkatkan nilai *Axial ratio* antena karena bentuk *patch* antena menyerupai L.

## 5.2 Saran

Adapun kritik yang dapat diberikan terkait spesifikasi dari antena yaitu Supaya antena menghasilkan polarisasi yang diinginkan mungkin bisa dapat mengubah bentuk *patch* antena sehingga bisa dimaksimalkan dan kurangnya kapasitas PC yang dapat memperlambat proses optimasi antena.

## Daftar Pustaka:

- [1] Balanis Constantine A., Antenna Theory Analysis And Design, 3rd ed., a John Wiley & Sons, Inc., publication, Wiley Interscience, 2005.
- [2] Yudi Yulius Maulana, "Rectangular Patch Antenna Array for Radar Application", IEEE TELKOMNIKA, Vol.14, No.4, December 2016, pp. 1345-1350, 2016.
- [3] Mudrik Alaydrus, Antena Prinsip dan Aplikasi, Graha Ilmu: Yogyakarta, 2011.
- [4] Asri Fevi Sari Sidabutar, "Perancangan dan realisasi antena radar cuaca pada frekuensi 5,5 Ghz-5,7 Ghz", Telkom University, 2017.
- [5] Egi Agara Wisnu, "Antena Mikrostrip Patch Rectangular Susunan Linier X band Untuk Radar Cuaca", Telkom University, 2017.
- [6] Merrill I. Skolnik, Radar Handbook, 2nd ed., McGraw-Hill, 1990.
- [7] Agus Sri Budi, "Tugas Akhir Mata Kuliah Sistem Radar Program S2 Magister Teknik Elektro, 19 Desember 2014, [http://www.academia.edu/9881981/Tugas\\_Akhir\\_Matakuliah\\_Sistem\\_Radar\\_Program\\_S2\\_Magister\\_Teknik\\_Elektro\\_Presented\\_by\\_at\\_BULLET\\_Agus\\_Sri\\_Budi](http://www.academia.edu/9881981/Tugas_Akhir_Matakuliah_Sistem_Radar_Program_S2_Magister_Teknik_Elektro_Presented_by_at_BULLET_Agus_Sri_Budi). [Diakses 21 Oktober 2018, 17:20:21 WIB].
- [8] Muhammad Ihsan dan Ali Hanafiah Rambe, "Analisis Antena Mikrostrip Patch Segiempat Dengan Teknik Linier Array", Vol 7 No.2, Universitas Sumatera Utara, 2014.
- [9] Evi Nur Cahyanti, "Antena Mikrostrip Persegi Panjang dengan Celah-T untuk Stasiun Bumi ADS-B 1,09 GHz", Telkom University, 2019.
- [10] Muhamad Erianto Septayadi, "Perancangan Dan Realisasi Antena Mikrostrip Patch Persegi Panjang dengan U Slot dan Proximity Coupled untuk Wifi 5,5 GHz", Telkom University, 2018.
- [11] Alvian Raharjo Aji, Levy Olivia N., Budi Syihabuddin, "Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Array Berbentuk Patch Segienam Untuk MIMO 60 4x4 Pada Frekuensi 15 GHz", e-Proceeding of engineering : Vol.5, No.3, Desember, 2018.
- [12] Kevin Jones A.S., Levy Olivia N., Budi Syihabuddin, "Perancangan Antena MIMO 2x2 Array Rectangular Patch dengan U-slot Untuk Aplikasi 5G", JNTETI, vol 6, no.1, Februari, 2017.