

SIMULASI DAN REALISASI ANTENA MILLIMETERWAVE UNTUK APLIKASI RFID

SIMULATION AND REALIZATION OF MILLIMETERWAVE ANTENA FOR RFID APPLICATION

Reza Pratama¹, A Ali Muayyadi², Yuyu Wahyu³.

^{1,2}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik, Universitas Telkom, Bandung

³ PPET-LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia)

¹rezapratama@students.telkomuniversity.ac.id

²alimuayyadi@telkomuniversity.ac.id, ³yuyu@ppet.lipi.go.id

Abstrak

Seiring dengan perkembangan zaman kebutuhan manusia terhadap teknologi komunikasi juga semakin meningkat. Salah satu teknologinya yaitu adalah antenna. Antena sendiri berfungsi sebagai pengirim dan penerima informasi, yaitu sebagai transformator gelombang elektromagnetik di udara. Radio-Frequency Identification (RFID) pada millimeterwave telah melahirkan aplikasi baru seperti data kecepatan tinggi komunikasi jarak pendek. Teknologi ini dapat dapat mengidentifikasi tanpa membutuhkan kontak langsung.

RFID ini sendiri memiliki dua komponen yaitu antenna reader dan antenna tag RFID. Pada tugas akhir ini akan disimulasikan dan direalisasikan perancangan antenna reader untuk aplikasi RFID yang akan berkerja pada frekuensi Ka-Band 35GHz. Tahapan awal akan dimulai dengan menentukan spesifikasi yang diinginkan. Kemudian dilakukan tahap simulasi menggunakan software CST Microwave Studio, setelah itu dilakukan proses pencetakan pada substrat Rogers Duroid 5880. Untuk karakteristik pengujian dan hasil dari rancangan dan realisasi antenna RFID reader sesuai dengan yang dispesifikasikan.

Kemudian pada tahap akhir dilakukanlah pengukuran agar mendapatkan hasil yang bisa dianalisa. Dari hasil pengukuran, antenna yang telah direalisasikan memiliki VSWR ≤ 1.2 pada frekuensi 34.9 – 35.1 GHz, bandwidth yang dicapai juga lebar yaitu 1200 MHz, gain sebesar 3.22 dB, polarisasi ellips, dan pola radiasi direksional yang mendekati omnidireksional.

Kata Kunci : *RFID, Rogers Duroid 5880*

Abstract

Along with the times the human needs of the communications technology is also increasing. One technology that is the antenna. Antenna itself serves as the sender and receiver of information, namely as a transformer of electromagnetic waves in the air. Radio-frequency Identification (RFID) on millimeterwave has given rise to new applications such as high-speed data communication over short distances. This technology can be identified without the need for direct contact.

RFID itself has two components, namely the reader antenna and RFID tag antenna. In this final project will be simulated and realized the design of reader antennas for RFID applications that will work on the frequency 35G Hz. The beginning stage will start within the desired specifications. Then follows the simulation using CST Microwave Studio software, after it is done printing process on a substrate Rogers Duroid 5880. For the characteristics of the test and the results of the design and realization of RFID reader antenna in accordance with the specified.

Then in the final stage of the measurement was performed in order to get results that can be analyzed. From the measurement results, the antenna has been realized had VSWR ≤ 1.2 at a frequency of 34.9 - 35.1 GHz, also achieved wide bandwidth is 1150 MHz, at 3.22 dB gain, polarization ellipse, and directional radiation pattern approaching omnidirectional.

Keywords: RFID, Rogers Duroid 5880

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi komunikasi pada kala ini semakin baik, cepat, dan stabil. Sehingga terdapat standar teknologi yang baru dan canggih. Di dalam suatu komunikasi umumnya terdapat antena. Salah satu contoh pengembangan antena yaitu RFID. RFID merupakan teknologi identifikasi berbasis gelombang radio. RFID memiliki keunggulan sebagai bentuk yang lebih baik dari teknologi kode batang (barcode) yang hanya terbatas pada jarak pandang dan keadaan lingkungan^[4].

Sistem RFID pada umumnya memiliki tiga komponen dasar yaitu Tag, Reader, dan Controller. Tag dan Reader berkomunikasi menggunakan gelombang radio. Saat objek yang memiliki Tag memasuki zona baca dari Reader, kemudian gelombang radio yang dipancarkan oleh Reader tersebut akan mengaktifkan suatu sirkuit pada Tag yang akan mentransmisikan informasi apa yang disimpan pada Tag tersebut^[4].

RFID (Radio Frequency Identification) Inductive yang beroperasi pada frekuensi rendah dan frekuensi tinggi band sudah banyak digunakan. Dalam beberapa tahun terakhir UHF band sudah dimanfaatkan untuk aplikasi RFID. Ketersediaan millimeterwave telah memungkinkan adanya minat khusus untuk banyak aplikasi dalam dunia telekomunikasi, layaknya seperti sistem RFID^[1].

Ada beberapa macam jenis antena mulai dimensi yang besar hingga dimensi yang kecil. Semakin kecil dimensi suatu antena maka akan berpengaruh pada efisiensi ruang, karena dengan dimensi antena yang kecil maka pengguna dapat menempatkan antena tersebut dimana saja asalkan mampu menerima sinyal dengan baik. Salah satu antena dengan dimensi yang kecil yaitu mikrostrip, bahan yang relatif sederhana, bentuk dan dimensi yang kecil serta biaya produksi yang relatif murah memberikan keuntungan tersendiri pada antena mikrostrip sehingga mampu memberikan performansi yang cukup baik untuk aplikasi RFID reader ini.

Pada tugas akhir ini akan disimulasikan dan direalisasikan antena reader yang dapat digunakan untuk aplikasi RFID. Millimeterwave band sekitar 35 GHz telah dipilih berkat kemampuannya yang mampu memberikan tingkat aliran yang tinggi dengan bahan material Roger Duroid 5880 yang memiliki ϵ_r 2.2. Antena Mikrostrip adalah antena yang memiliki bentuk seperti lempengan tipis. Antena Mikrostrip dibuat pada substrat yang terdiri dari berbagai lapisan, yaitu lapisan *conducting patch*, *dielectric substrat*, dan *groundplane*.

2. Dasar Teori

2.1 Antena

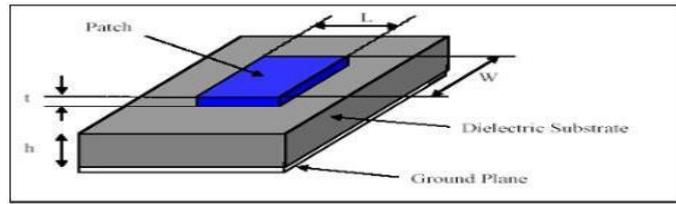
Antena adalah suatu perangkat yang menghubungkan antara gelombang transmisi dengan gelombang ruang bebas begitu pula sebaliknya. Antena bisa berfungsi sebagai pemancar atau penerima gelombang elektromagnetik dalam sistem telekomunikasi. Transmisi suatu pemancar menuju penerima yang jauh jaraknya menyebabkan gelombang elektromagnetik mengalami pengurangan energi, sehingga ketika diterima oleh penerimanya kekuatan sinyal sudah berkurang. Diterima dengan baik oleh penerima maka perlu diperhatikan parameter-parameter dasar antena yaitu pola radiasi, polarisasi, VSWR, bandwidth, dan gain^[4].

Fungsi Antena:

- *Matching Device* yaitu sebuah perangkat yang memiliki tingkat penyesuaian yang baik antara saluran transmisi dengan ruang bebas atau secara lebih spesifik apabila impedansi saluran sistem *transceiver* "matched" dengan impedansi radiasi antena tersebut.
- *Directional Device* yaitu mengarahkan atau mengkonsentrasikan daya elektromagnetik ke arah yang diinginkan dan menekan radiasi ke arah lainnya

2.2 Antena Mikrostrip

Antena Mikrostrip adalah antena yang memiliki bentuk seperti lempengan tipis. Antena Mikrostrip dibuat pada substrat yang terdiri dari berbagai lapisan, yaitu lapisan *conducting patch*, *dielectric substrat*, dan *groundplane*.



Gambar 1 Struktur Antena Mikrostrip^[8].

Lapisan-lapisan pada substrat adalah sebagai berikut^[6]:

- a) *Conducting Patch*
Conducting patch terletak paling atas dari lapisan substrat antena mikrostrip. *Patch* terbuat dari bahan konduktor. Pada lapisan ini akan dibentuk menjadi suatu bentuk antena tertentu, seperti lingkaran, rectangular, segitiga, ataupun berbentuk rectangular ring.
- b) *Dielectric Substrat*
Dielectric Substrat adalah lapisan tengah substrat yang berfungsi sebagai media penyalur gelombang elektromagnetik dari catuan menuju daerah dibawah *patch*. Bagian ini menggunakan bahan dielektrik dengan permitivitas relative tertentu sesuai dengan kebutuhan perancangan.
- c) *Groundplane*
Groundplane adalah lapisan paling bawah dari substrat biasanya terbuat dari bahan konduktor yang berfungsi sebagai reflector yang memantulkan sinyal yang tidak diinginkan.

Bentuk *patch* memiliki banyak macam seperti persegi panjang (*rectangular*), persegi (*square*), lingkaran (*circular*), elips (*elliptical*), *circular ring*, dan segitiga (*triangular*).

2.2.1 Dimensi Antena Mikrostrip

Untuk mencari dimensi antena mikrostrip (W dan L) harus diketahui terlebih dahulu parameter bahan yang akan digunakan yaitu tebal dielektrik (h), konstanta dielektrik (εr), tebal konduktor (t) dan rugi – rugi bahan. Panjang antena mikrostrip harus disesuaikan , karena apabila terlalu pendek maka bandwidth akan sempit sedangkan apabila terlalu panjang bandwidth akan menjadi lebih lebar tetapi efisiensi radiasi akan menjadi kecil. Dengan mengatur lebar dari antena mikrostrip (W) impedansi juga akan berubah^[7].

Antena mikrostrip dapat dibuat dalam berbagai bentuk patch, salah satunya adalah bentuk persegi. Bentuk persegi adalah bentuk yang paling mudah dan paling banyak digunakan. Karena ketebalan substrat jauh lebih tipis dibanding panjang gelombang, maka patch persegi dianggap suatu bidang planar untuk memudahkan analisa.

Pendekatan yang digunakan untuk mencari panjang dan lebar antena mikrostrip dapat menggunakan persamaan sebagai berikut^[7]..

$$\frac{L}{W} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\frac{300}{f}} \tag{1}$$

Dimana:

- : lebar konduktor (mm)
- : konstanta dielektrik (F/m)
- : kecepatan cahaya di ruang bebas (3x10⁸ m/s)
- : frekuensi kerja antena yang diinginkan (Hz)

Sedangkan untuk menentukan panjang patch (L) diperlukan parameter yang merupakan pertambahan akibat adanya fringing effect. Pertambahan panjang dari L yaitu ΔL tersebut dirumuskan sebagai berikut^[7].

$$\Delta L = \frac{W}{4} \left(\frac{1}{\epsilon_r} - 1 \right) \tag{2}$$

Dimana h merupakan tinggi substrat tau tebal substrat dan ϵ_r adalah konstant dielektrik relative yang dirumuskan sebagai berikut^[7] .:

$$L_{eff} = \frac{L}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

Perhitungan *Effective length* (L_{eff}) (4)

$$\sqrt{\epsilon_r}$$

Dengan panjang patch (L) dirumuskan

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

$\Delta L = \text{length extension}$

Ukuran Ground Plane sama dengan ukuran substrat, yaitu:

(6)

(7)

2.3 Parameter Antena

Untuk menggambarkan unjuk kerja suatu antena, sangat penting untuk memahami parameter-parameter antena. Beberapa parameter saling berhubungan dan tidak semua perlu ditentukan untuk gambaran keseluruhan dari kinerja antena. Jenis parameter-parameter antena menurut IEEE Standard Definition of Terms for Antennas, yaitu pola radiasi, intensitas radiasi, keterarahan (directivity), penguatan (gain), lebar pita (bandwidth), polarisasi, dan impedansi input. Parameter lain yang turut menentukan keberhasilan unjuk kerja antena yaitu Voltage Standing Wave Ratio (VSWR).

2.4 Radio Frequency Identification (RFID)

Radio Frequency Identification (RFID) adalah pengiriman data nirkabel modern dan penerimaan teknik untuk aplikasi termasuk identifikasi otomatis, pelacakan aset dan pengawasan keamanan. Sebagai barcode dan cara lain identifikasi dan aset pelacakan tidak memadai untuk kebutuhan saat ini, teknologi RFID telah menarik minat untuk aplikasi seperti logistik, manajemen rantai pasokan, pelacakan aset, dan keamanan kontrol akses. Karena fleksibilitas dan berbagai keuntungan dari sistem RFID dibandingkan untuk barcode dan sistem identifikasi lain, RFID sekarang menjadi penting untuk kebutuhan hidup modern^[4].

2.6 Millimeterwave Band Untuk Sistem RFID

Kecepatan transfer data yang lebih tinggi bahkan dengan berbagai gigabit dicapai di mm-gelombang Band. Sinyal pada pita mm-gelombang dapat membuat pensil seperti balok utama dengan peningkatan keuntungan. Pensil seperti balok utama juga menempati ruang sekitarnya yang lebih kecil. Interferensi dengan saluran komunikasi lainnya dapat diminimalkan dengan sinyal mm-gelombang semacam ini. Pembaca juga dapat menerima sinyal melalui ruang sempit, sehingga mengurangi kemungkinan gangguan. Sinyal pada frekuensi ini cepat diserap oleh oksigen atmosfer jarak jauh. Oleh karena itu dapat digunakan untuk komunikasi jarak pendek dan frekuensi reuse akan mungkin. Dalam U. S. A. batas maksimum daya transmisi pada pita 60 GHz adalah 40 dBm (10 watt), yang lebih tinggi dari batas di band UHF^[12].

3 Perancangan, Simulasi, dan Realisasi

3.1 Perancangan Antena

3.2.1 Tahapan Perancangan

Proses perancangan antena mikrostrip ini dilakukan dengan metode eksperimental dengan taapan sebagai berikut:

- 1) Penentuan spesifikasi sebagai langkah awal dalam pembuatan antena dengan menentukan bentuk antena, frekuensi kerja, pola radiasi, *bandwidth*, *gain*, polarisasi

dan lain sebagainya. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan perhitungan dimensi fisik dari antena mikrostrip yang bisa didapatkan dari perhitungan secara teoritis. Parameter yang dihitung diantaranya adalah panjang dan lebar dari patch dan saluran pada antena mikrostrip.

- 2) Perancangan menggunakan software untuk memvisualisasikan dan mensimulasikan yang dilakukan pada tahap sebelumnya. Visualisasi berupa gambar tiga dimensi dengan spesifikasi jenis bahan sesuai spesifikasi jenis bahan, ukuran, dan letak pencatutan agar bisa disimulasikan. Jenis bahan Duroid untuk bagian substratnya serta bahan *copper* untuk *patch* dan *groundplane*-nya. Hasil simulasi berupa parameter-parameter antena yang ditampilkan dalam bentuk grafik yang selanjutnya dianalisis untuk mengetahui karakteristik dan kinerja antena.
- 3) Fabrikasi yang disesuaikan dengan model yang telah dibuat oleh simulasi. Maka realisasi antena akan mirip dengan bentuk yang ada pada simulasi.

3.2.2 Spesifikasi Antena

Dalam perancangan antena ada beberapa proses yang harus dilalui agar didapatkan hasil antena yang sesuai dengan karakteristik yang sudah ditentukan. Pada *patch* antena kotak yang akan dibuat.

Berikut adalah spesifikasi antena yang akan dirancang dan direalisasikan:

a. Frekuensi kerja	: 35 GHz
b. <i>Bandwidth</i>	: ≥ 200 MHz
c. <i>Gain</i>	: ≥ 2 dBi
d. VSWR	: $\leq 1,2$
e. Impedansi	: 50Ω
f. <i>Return Loss</i>	: ≤ -20 dB
g. Polarisasi	: Sirkuler
h. Pola Radiasi	: Omnidireksional

3.3 Perancangan Simulasi

Tugas akhir ini akan merancang sebuah antena mikrostrip *patch* persegi yang dapat digunakan pada sistem RFID dengan *bandwidth* ± 200 MHz dengan frekuensi kerja 34.9-35.1. Perancangan antena ini dilakukan dengan menggunakan software *CST Microwave Studio*.

Dalam perancangannya bisa dimulai dari pemilihan jenis substrat dan selanjutnya menghitung dimensi patch antena dan lebar saluran catunnya. Hasil perhitungan tersebut kemudian disimulasikan dengan simulator *CST Microwave Studio*.

Teknik pencatutan antena menggunakan *microstrip line (direct feed)* pencatutan dilakukan dengan cara menghubungkan *line* pencatutan dengan *patch* secara langsung pada substrat yang sama. Untuk mendapatkan rancangann antena yang optimal dilakukan beberapa karakterisasi berupa perubahan dimensi *patch*. Dengan melakukan beberapa simulasi selanjutnya diperoleh hasil rancangan yang lebih optimal. Dengan software *CST Microwave Studio*, dapat diperoleh parameter-parameter antena yang dihasilkan berupa nilai VSWR, gain, dan pola radiasinya.

3.5 Simulasi Antena

Untuk merealisasikan sebuah antena, diperlukan sebuah simulasi menggunakan terlebih dahulu. Hal ini bertujuan untuk mengetahui hasil simulasi serta dimensi yang optimal dari suatu antena. Optimasi akan dilakukan jika hasil simulasi tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Optimasi dilakukan dengan cara mengubah bentuk maupun besaran parameter.

4 Pengukuran, Verifikasi Hasil, dan Analysis

4.1 Pendahuluan

Pada bab ini dibahas mengenai hasil dari pengukuran karakteristik dan dimensi fisik antena hasil fabrikasi. Pengukuran dimensi fisik antena bertujuan untuk membandingkan antara performansi antena hasil simulasi *CST Microwave Studio* dengan performansi antena realisasi atau hasil fabrikasi. Diharapkan dengan dilakukannya pengukuran dimensi fisik akan diketahui penyebab penyimpangan karakteristik antena akibat proses fabrikasi antena yang telah dirancang

melalui simulasi sebelumnya. Pengukuran parameter-parameter dilakukan di Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Bandung.

Parameter – parameter yang diukur diantara lain yaitu:

1. VSWR dan *Bandwidth*
2. *Return loss*
3. Impedansi
4. *Gain*
5. Pola radiasi
6. Polarisasi

4.2 Pengukuran Antena

Pengukuran yang dilakukan pada tugas akhir ini terhadap antena hasil simulasi terdiri dari dua macam pengukuran yaitu pengukuran fisik antena dan pengukuran karakteristik antena. Hasil pengukuran yang diperoleh akan dijadikan perbandingan dengan hasil simulasi *software CST Microwave Studio*,

Dalam pengukuran antena, hal – hal yang perlu diperhatikan adalah kemampuan alat ukurnya. Terutama ~~rate maksimum dan daerah frekuensi yang mampu diukur~~ oleh alat tersebut. Berikut adalah alat yang dipakai untuk pengukuran antena:

a. *Network Analyzer*

Pengukuran VSWR, *return loss*, *bandwidth*, dan impedansi antena bisa dilakukan dalam *Network Analyzer*. Alat ini bisa menampilkan grafik hasil ukur berupa VSWR dan *bandwidth* sebagai fungsi frekuensi, dan impedansi dalam bentuk *smith chart*

b. *Spectrum Analyzer*

Alat ini bisa digunakan dalam pengukuran gain, pola radiasi, dan polarisasi dari antena yang akan diukur. *Spectrum Analyzer* digunakan untuk mengukur level daya terima.

c. *Signal Generator*

Dalam pengukuran *gain*, pola radiasi, dan polarisasi dari antena yang diukur bisa digunakan *Signal Generator*. *Signal Generator* berfungsi membangkitkan sinyal pada antena pemancar (Tx) yang akan memberikan level daya dan frekuensi sesuai frekuensi kerja antena yang akan diukur.

4.7 Perbandingan Hasil Simulasi dan Hasil Pengukuran Antena

Tabel 1 Perbandingan spesifikasi kebutuhan, simulasi dan realisasi.

No.	Parameter	Spesifikasi Kebutuhan	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
1	Frekuensi kerja	35 GHz	35 GHz	35 GHz
2	VSWR	≤ 1.2	1.1065	1.08252
3	<i>Gain</i>	≥ 2 dBi	5.402	3.22
4	Impedansi	50 Ω	45.64 Ω	46.188 Ω
5	<i>Bandwidth</i> (VSWR ≤ 1.2)	200 MHz	720 MHz	1200 MHz
6	Pola Radiasi	omnidireksional	Direksional mendekati Omnidireksional	Direksional mendekati omnidireksional
7	<i>Return loss</i>	≤ -20 dB	-25.92 dB	-28.04 dB

Pada perbandingan pengukuran tabel 4.7 parameter, bisa dilihat pada simulasi dan pengukuran bahwa pada frekuensi 35 GHz memiliki $VSWR \leq 1.2$, dan untuk hasil pengukuran frekuensi 35 GHz memiliki $VSWR = 1.08$. Selain itu juga, dari tabel di atas terlihat bahwa hasil simulasi dan hasil pengukuran tidak memiliki perbedaan yang terlalu jauh. Dan pada *gain* antenna tidak memenuhi spesifikasi bisa juga dikatakan karena fabrikasi yang kurang baik. Yang artinya bisa dikatakan antenna yang telah dibuat masih butuh perbaikan dari spesifikasi yang telah ditentukan. Untuk frekuensi 35 GHz nilai impedansi adalah 46.188Ω yang mendekati dari nilai impedansi yang diharapkan, yaitu 50Ω yang artinya apabila nilai impedansi tepat pada 50Ω , maka nilai $VSWR$ pun akan sangat kecil bisa dikatakan sangat mendekati 1 dan pantulan tidak akan terjadi, dengan kata lain $\Gamma = 0$, maka $Z_{saltran} = Z_{antena}$. Pada saat simulasi dan optimasi *gain* antenna mencapai 5.402 dB dan pada saat realisasi antenna memiliki *gain* 3.22 ini disebabkan oleh lingkungan pengukuran yang masih kurang ideal, meskipun pengukuran dilakukan di *anechoic chamber* tapi masih ada sinyal – sinyal yang masih mengganggu seperti handphone yang diperlukan untuk keperluan dokumentasi. Dari hasil simulasi dan realisasi antenna memiliki spesifikasi pola radiasi yang telah ditentukan yaitu omnidireksional, akan tetapi pada simulasi dan realisasi hanya bisa direksional karena keterbatasan kemampuan penulis dalam pembuatannya. Sedangkan untuk polarisasi, dari hasil pengukuran menunjukkan polarisasi ellips. Dan yang dibutuhkan pada pengaplikasian RFID ini adalah polarisasi sirkuler.

5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari seluruh proses perancangan dan realisasi antenna mikrostrip *patch* persegi adalah sebagai berikut.

1. Semua parameter antenna diantaranya $VSWR$, *bandwidth*, *gain* dan polarisasi memenuhi spesifikasi perancangan awal antenna dan hasilnya tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi, sehingga antenna tersebut layak digunakan sebagai antenna yang akan dipakai pada RFID reader akan tetapi masih kurang maksimum performansi yang didapatkannya.
2. Hasil $VSWR$ pada frekuensi tengah 35 GHz adalah sebesar 1.08252.
3. *Bandwidth* yang telah diperoleh dengan frekuensi tengah 35 GHz yaitu 34.9 – 35.1 GHz sebesar 200 MHz. sesuai dengan spesifikasi awal.
4. Pola radiasi hasil simulasi adalah direksional. Dan hasil pada pengukurannya juga direksional yang belum memenuhi spesifikasi.
5. Polarisasi hasil pengukuran yang diperoleh belum sesuai dengan spesifikasi awal yaitu ellips. Yang biasanya digunakan dalam pengaplikasian RFID adalah polarisasi sirkuler.

5.2 Saran

Untuk menghasilkan perancangan dan realisasi antenna RFID reader yang lebih baik lagi, maka ada beberapa saran yang bisa dilakukan di masa yang akan datang antara lain yaitu:

1. Meningkatkan ketelitian dan kepresisian dalam proses simulasi, fabrikasi, maupun pengukuran, untuk menghindari adanya perbedaan hasil yang berbeda terlalu jauh
2. Melakukan pengukuran di ruang *anechoic chamber* tanpa adanya perangkat yang memiliki sinyal terkecuali alat ukur dan *antenna under test* (AUT).
3. Pada antenna ini memiliki pola radiasi direksional. Maka harus dilakukan pengkajian yang lebih matang agar bisa menjadi omnidireksional.
4. Dalam perancangan bisa dilakukan menggunakan *high impedance surface*(HIS) untuk mengurangi propagasi gelombang.

Daftar Pustaka:

- [1] Necibi, Omrane, "A novel RFID-HIS-PRS reader antenna for the millimeter wave band 30 GHz", 2015
- [2] Balanis, C.A, "Antenna Theory, Analysis, and Design", Harper & Row Publisher, New York, 1982.

- [3] IEEE Standard Test Procedures for Antenas, IEEE Std 149-1979, published by IEEE Inc.,1979, distributed by Wiley-Interscience.
- [4] Fitriyana, Nuril, "Perancangan Dan Realisasi Antena Mikrostrip Rectangular Monopole Spiral Dengan Substrat Alumina Pada UHF Untuk RFID Tag". Bandung: Telkom University, 2014
- [5] NN. (n.d.). Retrieved Agustus 31, 2008, RFID (Radio Frequency Identification): <http://www.solper.com/pic/48-Vol-2-b.pdf>.
- [6] Rahmadita, S. "Aplikasi Substrat Alumina Pada Antena Mikrostrip Patch Persegi Untuk Komunikasi Bergerak Pada Frekuensi (3,3 -3,4) GHz". Bandung: IT Telkom. ,2010
- [7] Rafsanjani, B," Perancangan Dan Analisa Antena Mikrostrip Patch Persegi pada Frekuensi 2,1 GHz Untuk 3,5 G Dengan Metode Pemindahan Dimensi Groundplane", Bandung: Telkom University, 2016
- [8] Jhon, Rafelly," Perancangan Dan Realisasi Antena Mikrostrip MIMO Bowtie 4X4 Pada Frekuensi 1,8 GHz Untuk Aplikasi LTE", Bandung: Telkom University, 2016.
- [9] J.R. James and P.S. Hall. , "Handbook of Microstrip Antennas", London: United Kingdom, 1989.
- [10] Sasono, Suryo, "Perancangan Dan Realisasi Mikrostrip pada Frekuensi K-Band Untuk Radar Otomotif", Bandung: Telkom University, 2016
- [11] <http://electronicdesign.com/communications/millimeter-waves-will-expand-wireless-future>. Bisa diakses pada tanggal 7 Agustus 2016.
- [12] Baki, A. K. M., & Karmakar, N. C. "Performance comparison of RFID tag at UHF band and millimeter-wave band". Monash University, Australia, 2014
- [13] NN. (n.d.). Retrieved Agustus 31, 2013, from Skema Elektronik Terbaru: <http://hillmanskemaelektronikterbaru.blogspot.com/p/operation-of-rfid-systems.html>