



Rancang Bangun Antena Mikrostrip *Triangular Patch* Sebagai Pendeteksi Kadar Air Pada Tanah

Fakhri Zaki Makarim^{1*}, Umaisaroh¹

¹*Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana,
Jl. Meruya Selatan, Jakarta 11650, Indonesia*
*Email: fakhrizakimakarim@gmail.com

Abstrak:

Tanah merupakan lapisan teratas di permukaan bumi yang memiliki peran penting dalam pertanian sebagai media untuk pertumbuhan tanaman yang memerlukan keberadaan air. Kadar air pada tanah menjadi sifat fisik yang berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan tanaman dengan jumlah air tertentu. Oleh karena itu dirancanglah sebuah antena mikrostrip *triangular patch* untuk mendeteksi kadar air pada tanah.

Antena mikrostrip dipilih karena memiliki ukuran kecil, bentuk yang ringkas, dan praktis, serta memiliki karakteristik yang dipengaruhi oleh objek di sekitarnya. Antena mikrostrip *triangular patch* dirancang pada frekuensi 3 GHz, dengan hasil perancangan menunjukkan nilai *return loss* sebesar -25.9151 dB pada frekuensi 3 GHz setelah dilakukan optimasi. Pada pengukuran, diperoleh nilai *return loss* sebesar -16.777 dB yang masih sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan yaitu < -10 dB.

Pada pengukuran antena mikrostrip *triangular patch* yang didesain menggunakan objek tanah, frekuensi menjadi parameter yang paling berpengaruh. Tanah yang digunakan adalah tanah andisol, pada kondisi tanah kering, frekuensi kerja antena terukur sebesar 2.91 GHz dengan nilai *return loss* -6,098 dB, sedangkan pada kondisi tanah basah frekuensi kerja berubah menjadi 2.8 GHz dengan nilai *return loss* -3,141 dB. Sementara pada tanah laterit kering, frekuensi kerja antena menjadi 2.8 GHz dengan nilai *return loss* -3,141 dB, sedangkan ketika tanah basah, frekuensi kerja antena menjadi 2 GHz dengan nilai *return loss* -1,179 dB. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa antena yang didesain dapat digunakan untuk mengukur perubahan kadar air pada tanah dengan memperhatikan pengaruh frekuensi kerja antena terhadap kadar air pada tanah.

This is an open access article under the [CC BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license



Kata Kunci:

Antena Mikrostrip;
HFSS;
Tanah;
Kadar Air;

Riwayat Artikel:

Diserahkan
Direvisi
Diterima

DOI:

10.22441/incomtech.v10i3.7777

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di bidang telekomunikasi semakin pesat, hal ini dibuktikan dengan tidak lagi digunakannya komunikasi dengan media kabel (*wireline*), melainkan berganti dengan teknologi tanpa kabel (*wireless*). Teknologi *wireless* memiliki tingkat efisien dan efektivitas yang lebih baik dibandingkan teknologi *wireline* karena menggunakan media udara yaitu gelombang radio [7].

Semakin pesatnya perkembangan teknologi membuat kebutuhan teknologi semakin meningkat. Salah satunya yaitu penggunaan tanah untuk tanaman yang memerlukan tingkat kadar air yang beragam. Air pada tanah merupakan salah satu sifat fisik tanah yang berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan tanaman dan aspek-aspek kehidupan manusia lainnya. Air dalam tanah berperan sebagai pelarut dan agen pengikat antar partikel-partikel tanah, yang selanjutnya berpengaruh terhadap stabilitas struktur dan kekuatan tanah [12].

Sifat fisik dan mekanik tanah yang mempengaruhi kapasitas dukung adalah kadar air pada tanah. Ukuran butiran tanah juga mempengaruhi perubahan kadar air suatu jenis tanah [12]. Kadar air pada tanah adalah sejumlah air yang terkandung dalam tanah, yang disebut juga kelembapan tanah. Kadar air pada tanah digunakan secara luas dalam bidang ilmiah dan teknik [3].

Saat ini, alat untuk mengukur kadar air pada tanah sudah terdapat di pasaran, namun karena harganya relatif mahal, sehingga masih menggunakan estimasi secara visual untuk menentukan kadar air yang terkandung. Oleh karena itu, penggunaan teknologi antena mikrostrip sebagai sensor akan sangat bermanfaat untuk pengecekan kadar air pada tanah.

Penggunaan antena mikrostrip sebagai sensor telah dilakukan yang berkaitan dengan penelitian ini yaitu Utami, Cahyani Nur merancang sebuah antena mikrostrip berbentuk *patch rectangular* yang beroperasi pada frekuensi 2,5 GHz dengan menggunakan substrat FR-4. Antena ini diaplikasikan untuk memperkirakan kadar air dalam tanah berdasarkan perubahan karakteristiknya. Hasil simulasi antena menunjukkan S11 sebesar -25,7364 dan VSWR sebesar 1,1089, sementara hasil pengukuran realisasi menunjukkan S11 sebesar -26,956 dan VSWR sebesar 1,0941, dengan kesimpulan bahwa semakin banyak atau tingginya kadar air, maka nilai frekuensi akan semakin kecil menjauhi frekuensi kerja [19].

Fikana, Zahara Nur merancang sebuah antena mikrostrip berbentuk *patch rectangular* yang beroperasi pada frekuensi 2,5 GHz dengan menggunakan substrat FR-4 sebagai sensor untuk mendeteksi kadar air pada jagung. Pengujian dilakukan dengan memasukkan jagung ke dalam antena dan menghubungkannya dengan VNA (*Vector Network Analyzer*). Hasil simulasi antena menunjukkan S11 sebesar -27,240 dan VSWR sebesar 1,090, sementara hasil pengukuran praktisnya menunjukkan S11 sebesar -18,840 dan VSWR sebesar 1,3025, dengan kesimpulan bahwa parameter yang relevan untuk digunakan sebagai konsep pengukuran antena sebagai sensor adalah parameter frekuensi, semakin mendekati nilai frekuensi awal apabila jagung yang diukur mempunyai kadar air yang sedikit [6].

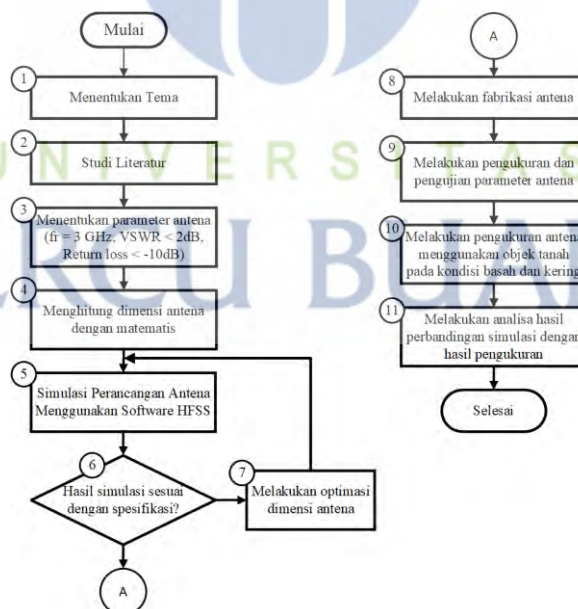
Mishra, Pankaj Kumar merancang sebuah antena mikrostrip dengan bentuk *patch circular* untuk menentukan kadar air. Antena sebagai sensor dirancang memiliki dimensi kecil dengan frekuensi kerja dari 5,7 GHz dengan menggunakan substrat FR-4. Didapatkan hasil simulasi yang dikaitkan dengan pengaruh *return*

loss yaitu sebesar -35dB, VSWR sebesar 1,03, *E-Field* dan *H-Field* dengan nilai maksimum yaitu sebesar 9042 V/m dan 13,4 A/m, sehingga antenna sebagai sensor tersebut sangat berguna untuk mendeteksi kelembapan karena sifat topologi yang sederhana, ukuran ringkas, dan kinerja yang baik karena mampu mencapai sensitivitas tinggi dan ketetapan [9].

Hal inilah yang mendasari untuk membuat sebuah antenna mikrostrip sebagai sensor yang dapat mendeteksi kadar air pada tanah. Antenna mikrostrip memiliki ukuran yang kecil, bentuk yang ringkas, praktis, dan fleksibel [15] Antenna mikrostrip dibuat dengan menggunakan sebuah substrat yang mempunyai tiga buah elemen dasar yaitu peradiasi (radiator), elemen substrat, dan elemen pertanahan (*ground*) [5]. Antenna mikrostrip *triangular* yang sesuai dengan frekuensi yang diinginkan dapat diperoleh dengan persamaan untuk mencari panjang sisi *patch* berbentuk segitiga [4]. Karakteristik antenna akan dipengaruhi oleh objek yang berada di sekitar antenna, konsep inilah yang kemudian digunakan sebagai dasar perancangan sensor kadar air pada tanah menggunakan antenna mikrostrip.

2. METODE

Tahapan penelitian melibatkan beberapa langkah, yaitu menentukan parameter antenna seperti frekuensi kerja 3 GHz, *return loss* < -10 dB, dan VSWR < -2 dB, Selanjutnya, melakukan perhitungan dimensi antenna menggunakan perhitungan matematis, menjalankan simulasi antenna menggunakan perangkat lunak HFSS, melakukan fabrikasi antenna, dan mengukur parameter antenna tanpa objek serta dengan objek tanah dalam kondisi basah dan kering. Kemudian melakukan Analisa hasil perbandingan antara simulasi dan pengukuran. Tahapan penelitian ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

2.1 Spesifikasi Antena

Antena merupakan suatu alat yang mengubah gelombang elektromagnetik menjadi gelombang bebas di udara, dan sebaliknya [1]. Dalam merancang sebuah

antena dilakukan penentuan karakteristik antenna yang diinginkan dan pemilihan jenis substrat. Parameter karakteristik antenna dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Rancangan Antena

Parameter	Spesifikasi
Frekuensi Kerja	3 GHz
VSWR	≤ 2 dB
<i>Return Loss</i>	≤ -10 dB

Pada Tabel 1 karakteristik antenna yang dimaksud yaitu spesifikasi berupa frekuensi kerja, VSWR, dan *return loss* yang akan menjadi parameter pembandingan antara hasil simulasi dengan antenna yang sudah di fabrikasi.

Bahan dielektrik yang digunakan sebagai substrat pada perancangan ini adalah Rogers Duroid 4003C, bahan ini dipilih karena memiliki *tangen loss* yang rendah sehingga dapat menghasilkan antenna yang baik. Karakteristik bahan dielektrik tersebut dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Rogers Duroid 4003C

Deskripsi	Keterangan
Jenis	Rogers Duroid 4003C
Konstanta dielektrik (ϵ_r)	3,55
Ketebalan lapisan dielektrik (h)	0,51 mm
<i>Loss tangent</i> ($\tan \delta$)	0,0027

2.2. Perancangan Dimensi Antena Patch Triangular

Bentuk dari elemen peradiasi (*patch*) antenna mikrostrip yang digunakan adalah triangular. *Patch triangular* dapat diartikan sebagai bentuk segitiga, mempunyai kelebihan yaitu memiliki karakteristik radiasi yang sama dan merata [18]. Untuk menentukan dimensi elemen peradiasi Antena Mikrostrip *Triangular* dapat ditentukan dengan beberapa tahap yaitu:

a. Penentuan frekuensi kerja dan panjang gelombang antenna

Antena mikrostrip *triangular* dirancang untuk berfungsi maksimal pada frekuensi 3 GHz. Setelah mengetahui frekuensi kerjanya, maka panjang gelombang antenna dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1.

$$\lambda = \frac{c}{f} \dots\dots\dots(1)$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{3 \times 10^9 \text{ Hz}}$$

$$\lambda = 0,1 \text{ m} = 100 \text{ mm}$$

b. Penentuan dimensi *patch* antenna mikrostrip *triangular*

Antena mikrostrip terdiri dari 3 bagian yaitu *patch*, substrat, dan *ground*. *Patch* pada antenna mikrostrip *triangular* memiliki bentuk segitiga. Untuk menentukan panjang sisi dari *patch triangular* menggunakan persamaan 2 dan 3.

$$a = \frac{2c}{3fr\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots(2)$$

$$a = \frac{2 \times 3 \times 10^8}{3 \times 3 \times 10^9 \sqrt{3,55}}$$

$$a = 0,03538 \text{ m} = 35,38 \text{ mm}$$

Untuk menentukan panjang sisi sebenarnya digunakan nilai a_{eff} yang dapat dihitung dengan persamaan 3

$$a_{eff} = a + h(\epsilon_r)^{-\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(3)$$

$$a_{eff} = 35,38 \text{ mm} + 0,51(3,55)^{-\frac{1}{2}}$$

$$a_{eff} = 35,65 \text{ mm}$$

Setelah mengetahui panjang sisi segitiga, maka tinggi segitiga dapat dihitung dengan persamaan 4 yaitu

$$t_s = \sqrt{(a)^2 - (\frac{1}{2}a)^2} \dots\dots\dots(4)$$

$$t_s = \sqrt{(35,65)^2 - (\frac{1}{2}35,65)^2}$$

$$t_s = 30,87 \text{ mm}$$

Nilai 30,87 mm merupakan tinggi patch segitiga yang digunakan sebagai ukuran untuk menu *polygon* di HFSS.

c. Penentuan impedansi saluran transmisi

Impedansi saluran transmisi 50Ω dapat dihitung dengan menentukan nilai panjang gelombang pada bahan dielektrik λ_d dapat dihitung dengan persamaan 5:

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots(5)$$

$$\lambda_d = \frac{100 \text{ mm}}{\sqrt{3,55}}$$

$$\lambda_d = 53,07 \text{ mm}$$

Selanjutnya dapat dihitung panjang saluran (L_f) dengan persamaan 6 berikut:

$$L_f = \frac{\lambda_d}{4} \dots\dots\dots(6)$$

$$L_f = \frac{53,07 \text{ mm}}{4}$$

$$L_f = 13,36 \text{ mm}$$

d. Penentuan lebar saluran transmisi

Setelah menentukan impedansi saluran, langkah berikutnya adalah menentukan lebar saluran transmisi dengan menggunakan persamaan 7 berikut:

$$W_f = \frac{377}{\sqrt{\epsilon_r}} \left(\frac{h}{Z_L}\right) \dots\dots\dots(7)$$

$$W_f = \frac{377}{\sqrt{3,55}} \left(\frac{0,51}{50 \Omega}\right)$$

$$W_f = 2,04 \text{ mm}$$

e. Penentuan ukuran *ground plane*

Menentukan lebar dan panjang dari *ground*, dapat dihitung dengan persamaan yaitu:

Panjang *ground plane*:

$$L_g = 6h + t$$

$$L_g = (6 \times 0,51) + 30,87 \text{ mm}$$

$$L_g = 33,93 \text{ mm}$$

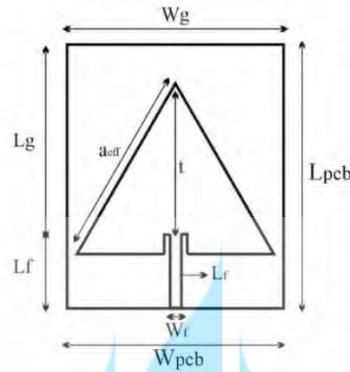
Lebar *ground plane*:

$$W_g = 6h + a$$

$$W_g = (6 \times 0,51) + 35,65 \text{ mm}$$

$$W_g = 38,71 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan dalam perancangan diatas maka didapat desain antenna seperti Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Perancangan Antena Mikrostrip

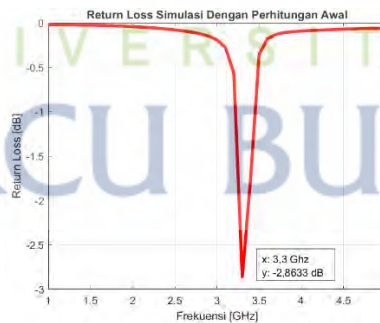
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Simulasi Antena Mikrostrip

Setelah melakukan perancangan model antenna, maka dilakukan proses simulasi dengan menggunakan *software* HFSS. Simulasi antenna dilakukan untuk melihat *output* dari parameter antenna yang sesuai dengan parameter yang diinginkan.

3.1.1 Simulasi Berdasarkan Perhitungan Awal

Dari hasil perhitungan awal, didapatkan dimensi dari antenna mikrostrip yang akan disimulasikan. Hasil simulasi antenna perhitungan awal ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. *Return Loss* Simulasi Antena berdasarkan Perhitungan Awal

Hasil rancangan dengan perhitungan awal didapatkan parameter-parameter. Nilai dari parameter hasil perhitungan awal ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Simulasi Perhitungan Awal

Parameter	Nilai
Frekuensi Resonansi	3,3 GHz
Return Loss	-2,8633 dB
VSWR	15,7378 dB
Gain	1,27 dB

Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil simulasi perhitungan awal belum memenuhi spesifikasi yang diinginkan, dimana parameter frekuensi menunjukkan nilai 3.3 GHz, agar mendapatkan hasil yang sesuai spesifikasi dan optimal, dilakukan optimasi perubahan dimensi antenna.

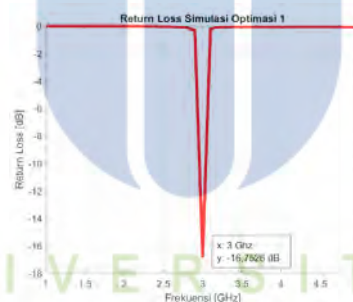
3.1.2 Simulasi Berdasarkan Optimasi Antena

Dalam optimasi antenna, beberapa dimensi disesuaikan untuk hasil optimal. Penyesuaian dimulai dengan frekuensi kerja, di mana frekuensi tinggi memerlukan ukuran antenna yang lebih kecil. Selanjutnya, ukuran elemen antenna, seperti *patch*, panjang dan lebar saluran transmisi, serta ukuran substrat dan *ground*, dapat disesuaikan.

a. Hasil Optimasi Ukuran Substrat, *Ground*, dan *Patch*

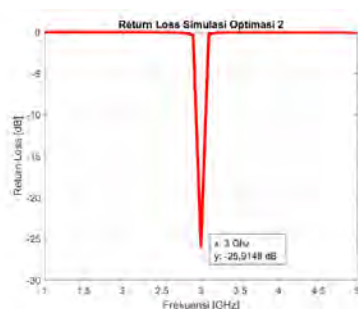
Dalam simulasi ini, penyesuaian ukuran dimensi *patch* segitiga dan saluran transmisi dilakukan untuk hasil simulasi yang optimal. Optimasi antenna mencakup perubahan ukuran substrat, *ground*, dan *patch*. Peningkatan ukuran *patch* menyebabkan pergeseran frekuensi ke kiri, sementara ukuran *ground* dan substrat memengaruhi nilai *return loss*.

Proses optimasi melibatkan perubahan ukuran panjang dan lebar substrat dari 47,29 mm x 38,71 mm menjadi 35,93 mm x 40,71 mm, panjang sisi segitiga dari 30,87 mm menjadi 35,20 mm, dan lebar serta tinggi saluran transmisi dari 2,04 mm x 13,36 mm menjadi 2 mm x 12,19 mm. Hasil optimasi menunjukkan *return loss* -16,7526 dB dan VSWR 2,5427 dB pada frekuensi 3 GHz. Gambar 4 menunjukkan hasil optimasi substrat dan *patch*.



Gambar 4. *Return Loss* Hasil Optimasi Substrat dan *Patch*

Hasil simulasi ukuran substrat dan *patch* belum optimal, sehingga dilakukan optimasi pada panjang dan lebar *ground* dari 40,71 mm x 32,71 mm menjadi 35,93 mm x 32,21 mm. Peningkatan optimasi *ground* menunjukkan bahwa semakin kecil lebar *ground*, frekuensi bergeser ke kiri. Setelah optimasi *ground*, diperoleh nilai *return loss* -25,9148 dB dan VSWR 0,880 dB pada frekuensi 3 GHz. Gambar 5 menampilkan hasil simulasi *ground plane*.



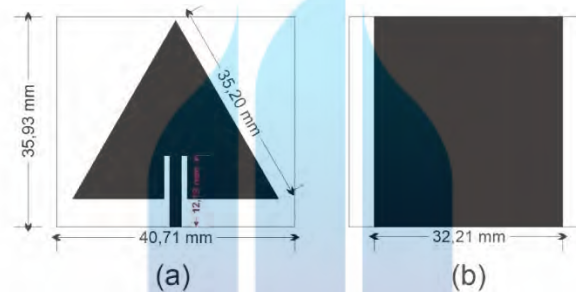
Gambar 5. *Return Loss* Hasil Optimasi *Ground Plane*

Pada Gambar 5 ditunjukkan bahwa hasil optimasi telah memenuhi spesifikasi rancangan antenna. Optimasi mengakibatkan perubahan dari ukuran dimensi antenna yang ditunjukkan oleh Tabel 4.

Tabel 4. Ukuran Dimensi Hasil Optimasi Antena

Parameter	Dimensi	Dimensi Optimasi	Dimensi Optimasi
Lebar Substrat (W_{pcb})	38.71 mm	40,71 mm	40.71 mm
Panjang Substrat (L_{pcb})	47.29 mm	35,93 mm	35.93 mm
Panjang Sisi Segitiga (a_{eff})	30.87 mm	35.20 mm	35.20 mm
Lebar Saluran Transmisi	2.04 mm	2 mm	2 mm
Tinggi Saluran Transmisi	13.36 mm	12,19 mm	12.19 mm
Lebar <i>Ground Plane</i> (W_g)	38.71 mm	32.71 mm	32.21 mm
Panjang <i>Ground Plane</i> (L_g)	33,93 mm	40.71 mm	35.93 mm

Setelah proses optimasi, beberapa dimensi antenna disesuaikan untuk mencapai hasil yang optimal, dimensi antenna setelah optimasi ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6. Dimensi Antena (a) Tampilan Depan (b) Tampilan Belakang

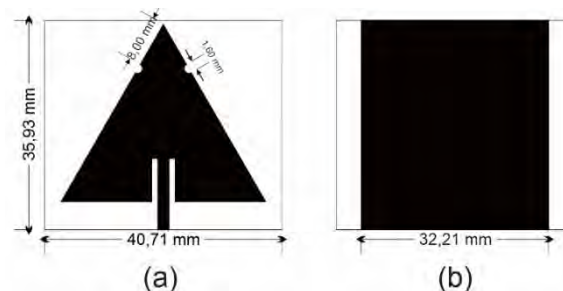
Setelah mendapatkan ukuran dimensi optimasi, dilakukan perbandingan hasil optimasi yang ditunjukkan oleh Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Optimasi Antena

Parameter	Dimensi Perhitungan	Hasil Optimasi	Hasil Optimasi
Frekuensi	3,3 GHz	3 GHz	3 GHz
<i>Return Loss</i>	-2,8633 dB	-16,7526 dB	-25,9148 dB
VSWR	15,7378 dB	2,5427 dB	0,8800 dB
<i>Gain</i>	1,27 dB	1,8 dB	2,5 dB

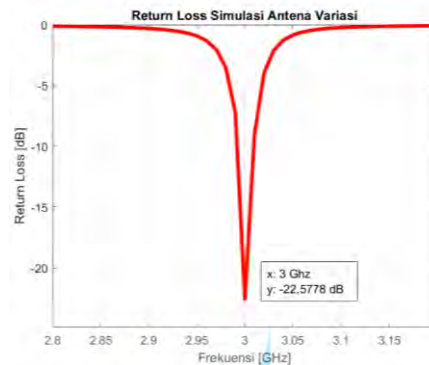
b. Hasil Optimasi Variasi *Patch*

Dalam pembuatan antenna ini, dilakukan variasi pada *patch* dengan membuat lubang melingkar untuk melihat perubahan parameter. Mushtaq merancang antenna mikrostrip dengan menambahkan lubang melingkar pada *patch*, diketahui bahwa lubang melingkar tersebut dapat menyebabkan perubahan pada nilai *return loss* [10]. Bentuk variasi *patch* antenna dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Antena Variasi *Patch* (a) Tampilan Depan (b) Tampilan Belakang

Ukuran dari variasi lubang melingkar pada sisi segitiga disesuaikan dengan hasil simulasi, didapatkan lubang melingkar dengan radius 0,8 mm dan jarak dari puncak segitiga 8 mm dengan hasil *return loss* -25,9151 pada frekuensi 3 GHz. Hasil simulasi antenna variasi *patch* ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 8. Return Loss Simulasi Antena Variasi

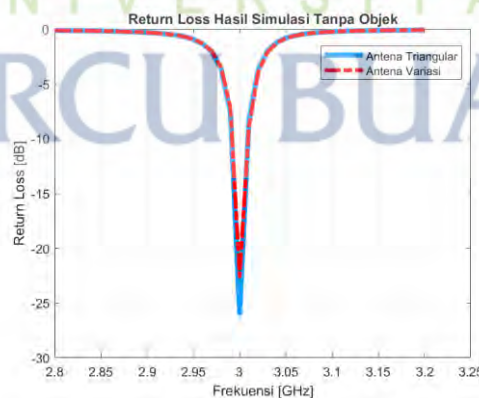
3.1.3 Hasil Simulasi Antena Mikrostrip Tanpa Objek

Simulasi antenna mikrostrip tanpa objek dilakukan untuk memastikan antenna yang akan di fabrikasi sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Antena yang digunakan pada simulasi ini adalah antenna yang sudah melalui proses optimasi. Gambar 9 menunjukkan simulasi menggunakan *software* HFSS, didapatkan hasil simulasi yang ditunjukkan oleh Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Simulasi Tanpa Objek

Jenis Antena	Frekuensi	Return Loss	Bandwidth	VSWR	Gain
Antena <i>Triangular</i>	3 GHz	-25,9151 dB	60 MHz	0,8800 dB	2,5 dB
Antena <i>Triangular Variasi</i>	3 GHz	-22,5778 dB	60 MHz	1,2935 dB	2,5 dB

Tabel 6 menunjukkan hasil simulasi antenna *triangular* dan variasinya tanpa objek. Parameter memenuhi spesifikasi pada frekuensi 3 GHz dengan *return loss* <-10 dB dan VSWR <2 dB.



Gambar 9. Return Loss Simulasi Tanpa Objek

3.1.4 Hasil Simulasi Antena Mikrostrip Dengan Objek

Simulasi antenna mikrostrip dengan objek dilakukan untuk mengamati dampak tanah pada antenna dalam kondisi normal dan basah. Material *circular* ditambahkan pada desain antenna dengan penyesuaian parameter permitivitas relatif (ϵ_r) yang menyatakan kemampuan medium untuk meredam intensitas medan listrik relatif

terhadap ruang vakum [16]. Nilai permitivitas tanah terbagi antara kondisi kering dan basah [17]. Simulasi dilakukan untuk mengamati perubahan frekuensi, *return loss*, dan VSWR. Hasil simulasi antenna mikrostrip dengan objek ditunjukkan oleh Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Hasil Simulasi Dengan Objek Antena *Triangular*

No.	Kondisi Tanah		Frekuensi (GHz)	Return Loss (dB)
	Permitivitas Relatif (ϵ_r)	Konduktivitas		
1.	10	10^{-2}	2,93	-11,8066
2.	11	10^{-2}	2,92	-11,1878
3.	12	10^{-2}	2,92	-9,8412
4.	13	10^{-2}	2,91	-9,7970
5.	14	10^{-2}	2,90	-8,8303
6.	15	10^{-2}	2,90	-8,2555
7.	16	10^{-1}	2,89	-6,8015
8.	17	10^{-1}	2,89	-6,2198
9.	18	10^{-1}	2,88	-5,5412
10.	19	10^{-1}	2,87	-5,5101
11.	20	10^{-1}	2,86	-5,0826

Tabel 8. Hasil Simulasi Dengan Objek Antena *Triangular* Variasi

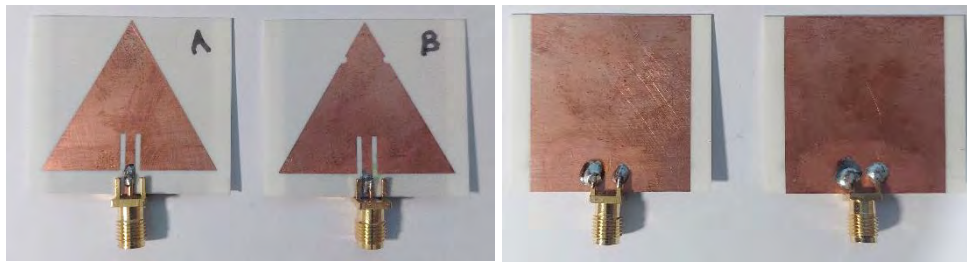
No.	Kondisi Tanah		Frekuensi (GHz)	Return Loss (dB)
	Permitivitas Relatif (ϵ_r)	Konduktivitas		
1.	10	10^{-2}	2,88	-13,5729
2.	11	10^{-2}	2,86	-12,9411
3.	12	10^{-2}	2,86	-12,8807
4.	13	10^{-2}	2,86	-11,5269
5.	14	10^{-2}	2,81	-12,5999
6.	15	10^{-2}	2,84	-9,2774
7.	16	10^{-1}	2,84	-7,6418
8.	17	10^{-1}	2,81	-8,3090
9.	18	10^{-1}	2,83	-6,9645
10.	19	10^{-1}	2,83	-5,9131
11.	20	10^{-1}	2,83	-5,5033

Pada Tabel 7 dan Tabel 8 terlihat bahwa peningkatan nilai permitivitas relatif menyebabkan peningkatan pada nilai VSWR dan *return loss*, sementara frekuensi cenderung bergeser ke arah kiri menjauhi frekuensi awal. Nilai permitivitas tanah basah yaitu 10 – 20 dengan konduktivitas 10^{-2} – 10^{-1} . Hasil yang ditunjukkan dalam tabel dari simulasi dengan objek dapat dijadikan sebagai acuan dan pembandingan dengan antenna setelah proses fabrikasi, dimana semakin basah tanah maka frekuensi semakin kecil dari frekuensi awal.

3.2. Pembuatan Antena Mikrostrip

Setelah uji simulasi menggunakan HFSS, diperoleh dimensi antenna dengan parameter optimal. Langkah berikutnya melibatkan fabrikasi dan pengujian antenna untuk memastikan memenuhi parameter yang diinginkan. Data hasil pengujian ini dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut.

Proses fabrikasi antenna mikrostrip *patch triangular* menggunakan bahan Rogers Duroid 4003C (0,51 mm), dipilih karena memiliki *tangen loss* rendah, menghasilkan antenna yang baik. Hasil fabrikasi ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Fabrikasi Antena Tampak Depan dan Tampak Belakang

3.3. Pengukuran Antena Mikrostrip

Setelah simulasi, optimasi, dan fabrikasi antena mikrostrip *patch triangular*, dilakukan pengukuran di Laboratorium UMB dengan menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA). VNA merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur parameter jaringan-jaringan listrik. Analisa jaringan biasanya mengukur S-parameter [14]. Langkah ini bertujuan memperoleh nilai parameter antena yang telah di fabrikasi dan memastikan kesesuaian dengan spesifikasi yang diinginkan.

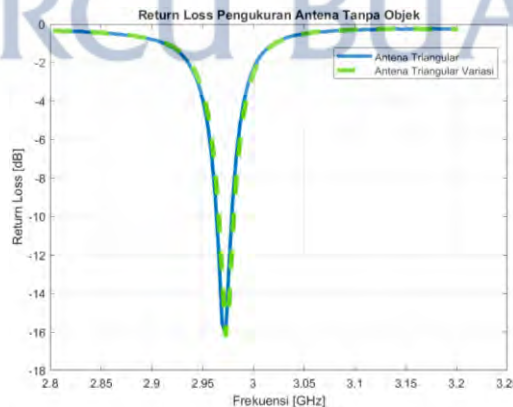
3.3.1 Hasil Pengukuran Tanpa Objek

Setelah pengukuran antena *triangular*, diperoleh data hasil pengukuran frekuensi kerja dan *return loss*. Pengukuran *return loss* dilakukan untuk menilai perbandingan antara gelombang yang dipantulkan dan gelombang yang dikirim, terutama akibat ketidaksesuaian impedansi antena. Data hasil pengukuran pada antena mikrostrip tanpa objek dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Pengukuran Tanpa Objek

Jenis Antena	Frekuensi	Return Loss	Bandwidth
Antena Triangular	2,9704 GHz	-16,777 dB	45 MHz
Antena Triangular Variasi	2,9727 GHz	-22,1689 dB	42 MHz

Pada Tabel 9 ditunjukkan hasil simulasi tanpa objek, didapatkan hasil pengukuran antena *triangular* yaitu 2,9704 GHz dengan nilai *return loss* -16,777 dB dan antena *triangular* variasi yaitu 2,9727 GHz dengan nilai *return loss* -22,1689 dB. Hasil pengukuran dengan objek tanah andisol antena *triangular* ditunjukkan oleh Gambar 11.



Gambar 11. Return Loss Pengukuran Tanpa Objek

Nilai tersebut dapat dianggap baik karena *return loss* yang dihasilkan sudah sesuai dengan spesifikasi, yakni < -10 dB yang artinya nilai gelombang yang

direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirim, atau dengan kata lain saluran transmisi sudah *matching*.

3.3.2 Hasil Pengukuran Dengan Objek

Pengukuran antenna berikutnya melibatkan objek tanah. Tanah berasal dari hasil pelapukan batuan bercampur dengan sisa-sisa bahan organik dan organisme (vegetasi atau hewan) yang hidup di atasnya atau di dalamnya. Selain itu di dalam tanah terdapat juga air dan udara [2]. Pengukuran ini bertujuan untuk mengamati perubahan parameter antenna sehingga antenna dapat berfungsi sebagai sensor untuk mendeteksi kadar air dalam tanah, termasuk tanah andisol dan tanah laterit. Pengukuran dilakukan menggunakan wadah yang berisi tanah, dengan posisi antenna berada di dalam tanah.

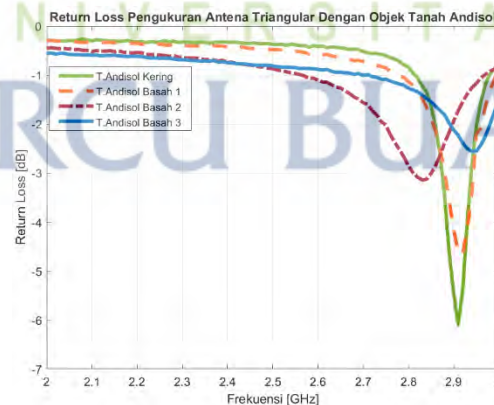
1. Tanah Andisol

Tanah andisol adalah tanah yang berwarna hitam kelam, sangat sarang, mengandung bahan organik dan lempung [8]. Setelah dilakukan pengukuran dengan kondisi yang berbeda, didapatkan hasil pengukuran dengan objek tanah andisol yang ditunjukkan oleh Tabel 10.

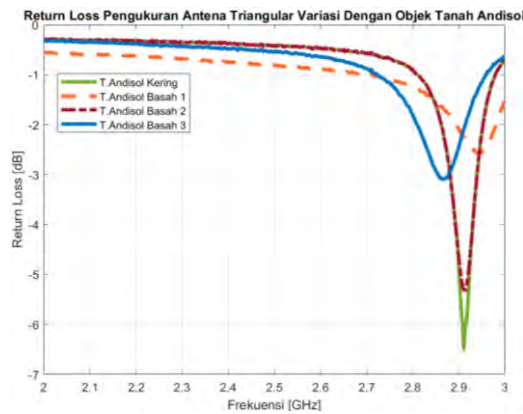
Tabel 10. Hasil Pengukuran Dengan Objek Tanah Andisol

Jenis Antena	Kondisi	Berat Tanah	Metode	Frekuensi	Return Loss
Triangular	Kering	968	0 %	2,910	-6,098
	Basah 1	1070	9,53 %	2,946	-2,57
	Basah 2	1170	17,26 %	2,916	-4,709
	Basah 3	1270	23,78 %	2,834	-3,141
Triangular Variasi	Kering	968	0 %	2,910	-6,507
	Basah 1	1070	9,53 %	2,913	-5,319
	Basah 2	1170	17,26 %	2,879	-2,039
	Basah 3	1270	23,78 %	2,864	-3,096

Hasil pengukuran dengan objek tanah andisol antenna triangular ditunjukkan oleh Gambar 12 dan hasil pengukuran antenna *triangular* variasi ditunjukkan oleh Gambar 13.



Gambar 12. Return Loss Antena Triangular Pada Tanah Andisol



Gambar 13. Return Loss Antena Triangular Variasi Pada Tanah Andisol

Pengukuran pada tanah andisol menunjukkan bahwa peningkatan kadar air berdampak pada penurunan frekuensi, disebabkan oleh perubahan permitivitas tanah seiring dengan kenaikan kadar air. Kadar air dihitung menggunakan metode gravimetri, yang memanfaatkan perubahan berat sampel tanah sebelum dan setelah proses tertentu untuk memberikan gambaran tentang jumlah air dalam tanah [13].

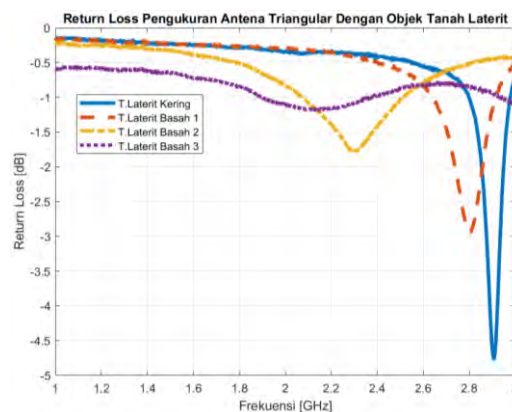
2. Tanah Laterit

Tanah Laterit merupakan tanah merah yang banyak dijumpai di Indonesia, keberadaan tanah laterit cukup melimpah dan mudah ditemukan di alam terutama di daerah tropis [11]. Setelah dilakukan pengukuran dengan kondisi yang berbeda, didapatkan hasil pengukuran dengan objek tanah laterit yang ditunjukkan oleh Tabel 11.

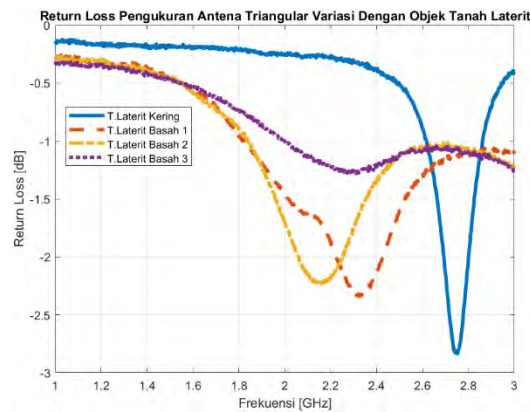
Tabel 11. Hasil Pengukuran Dengan Objek Tanah Laterit

Jenis Antena	Kondisi	Berat Tanah	Metode	Frekuensi	Return Loss
Triangular	Kering	1092	0 %	2,906	-4,762
	Basah 1	1192	8,56 %	2,802	-2,936
	Basah 2	1292	15,63 %	2,304	-1,774
	Basah 3	1392	21,71 %	2,089	-1,179
Triangular Variasi	Kering	1092	0 %	2,743	-2,743
	Basah 1	1192	8,56 %	2,322	-2,340
	Basah 2	1292	15,63 %	2,151	-2,232
	Basah 3	1392	21,71 %	2,265	-1,261

Hasil pengukuran dengan objek tanah laterit antena *triangular* ditunjukkan oleh Gambar 14 dan hasil pengukuran antena *triangular* variasi ditunjukkan oleh Gambar 15.



Gambar 14. Return Loss Antena Triangular Pada Tanah Laterit



Gambar 15. *Return Loss* Antena *Triangular* Variasi Pada Tanah Laterit

Pengukuran antenna dengan tanah andisol dan tanah laterit dilakukan untuk mengetahui pergeseran parameter seperti *return loss* dan frekuensi kerja. Kadar air dihitung menggunakan metode gravimetri, yang memanfaatkan perubahan berat sampel tanah sebelum dan sesudah suatu proses [13]. Hasilnya menunjukkan bahwa peningkatan kadar air pada tanah menyebabkan penurunan frekuensi dan perubahan parameter antenna, terutama saat tanah berubah dari kering menjadi basah.

3.4. Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran

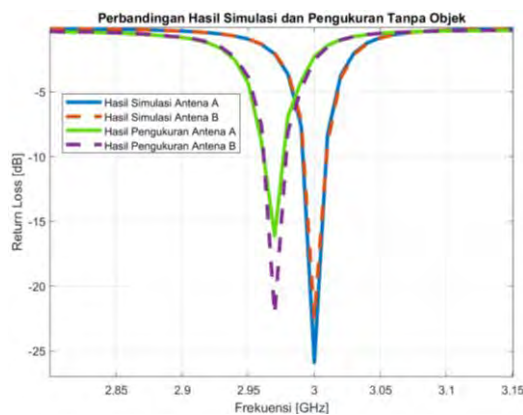
3.4.1 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran Tanpa Objek

Simulasi dan pengukuran tanpa objek dilakukan untuk melihat nilai dari parameter antenna. Hasil perbandingan nilai parameter simulasi dan pengukuran ditunjukkan oleh Tabel 12.

Tabel 12 Perbandingan Hasil Simulasi dan Hasil Pengukuran Tanpa Objek

Jenis Antena	Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Antena <i>Triangular</i>	Frekuensi Kerja	3 GHz	2,97 GHz
	<i>Return Loss</i>	-25,9151 dB	-16,777 dB
	<i>Bandwidth</i>	60 MHz	45 MHz
Antena <i>Triangular</i> Variasi	Frekuensi Kerja	3 GHz	2,97 GHz
	<i>Return Loss</i>	-22,5778 dB	-22,1689 dB
	<i>Bandwidth</i>	60 MHz	42 MHz

Tabel 12 merupakan perbandingan antenna mikrostrip *patch triangular* dan antenna *triangular* variasi tanpa objek. Berdasarkan tabel tersebut, terlihat adanya perbedaan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran. Terjadi penurunan frekuensi kerja dari 3 GHz menjadi 2,97 GHz, dan nilai *return loss* turun dari -25,9151 dB dan -22,5778 dB menjadi -16,777 dB dan -22,1689 dB pada pengukuran, serta nilai *bandwidth* turun dari 60 MHz menjadi 45 MHz dan 42 MHz. Grafik hasil perbandingan hasil simulasi dan hasil pengukuran ditunjukkan oleh Gambar 16..



Gambar 16. Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran Tanpa Objek

Perbedaan antara hasil simulasi dan pengukuran ini bisa berbeda karena beberapa faktor, antara lain:

1. Selama proses fabrikasi, dimensi antenna dan pemasangan konektor pada antenna memungkinkan adanya kurang presisi.
2. Kondisi ruangan atau lingkungan yang masih memungkinkan memberikan dampak pada hasil pengukuran, seperti adanya gelombang pantul yang dihasilkan oleh dinding atau benda di sekitar objek pengukuran.

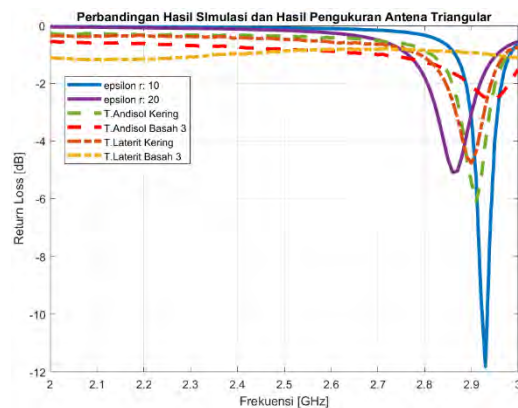
3.4.2 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran Dengan Objek

Pada pengukuran menggunakan objek tanah menggunakan tanah andisol dan tanah laterit, terdapat perbedaan nilai antara simulasi dan pengukuran. Hal ini disebabkan oleh sifat tanah yang tidak homogen, sehingga menghasilkan perbedaan hasil. Hasil perbandingan simulasi dan pengukuran dengan objek ditunjukkan oleh Tabel 13.

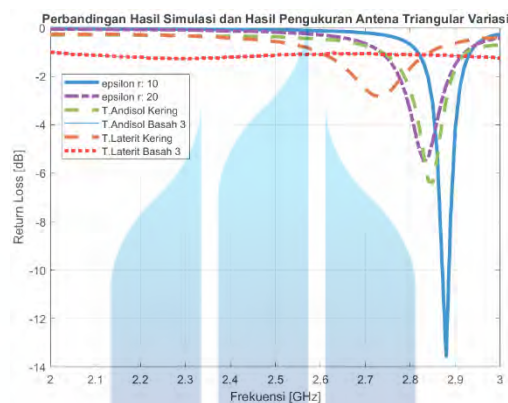
Tabel 13. Perbandingan Hasil Simulasi dan Hasil Pengukuran Dengan Objek

Jenis Antena	Kondisi Tanah	Frekuensi (GHz)	Return Loss (dB)
<i>Triangular</i>	Simulasi $\epsilon_r = 10$	2,930	-11,8066
	Simulasi $\epsilon_r = 20$	2,860	-5,0826
	Andisol Kering	2,910	-6,098
	Laterit Kering	2,906	-4,762
	Andisol Basah 3	2,834	-3,141
	Laterit Basah 3	2,089	-1,179
<i>Triangular Variasi</i>	Simulasi $\epsilon_r = 10$	2,88	-13,5729
	Simulasi $\epsilon_r = 20$	2,83	-5,5033
	Andisol Kering	2,151	-2,232
	Laterit Kering	2,265	-1,261
	Andisol Basah 3	2,864	-3,096
	Laterit Basah 3	2,265	-1,261

Grafik perbandingan hasil simulasi dan hasil pengukuran dengan objek antenna triangular ditunjukkan oleh Gambar 17 dan antenna triangular variasi ditunjukkan oleh Gambar 18.



Gambar 17. Perbandingan Simulasi dan Pengukuran Objek Antena Triangular



Gambar 18. Perbandingan Simulasi dan Pengukuran Objek Antena Variasi

Pada Gambar 17 dan Gambar 18 ditunjukkan perbandingan grafik hasil simulasi dan pengukuran menggunakan objek tanah. Secara keseluruhan hasil simulasi dan pengukuran dengan menggunakan tanah andisol dan tanah laterit menunjukkan bahwa parameter yang berpengaruh terhadap perubahan kondisi tanah adalah pergeseran frekuensi. Saat air pada tanah meningkat, nilai frekuensi pada pengukuran cenderung mengalami penurunan dari frekuensi kerja di 3 GHz. Pergeseran frekuensi ini disebabkan oleh perubahan permitivitas tanah seiring dengan peningkatan kadar air.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, simulasi, realisasi, dan pengukuran dari antena mikrostrip *triangular patch* untuk mendeteksi kadar air pada tanah, dapat disimpulkan bahwa:

1. Antena mikrostrip *triangular patch* dapat dirancang dan direalisasikan untuk mendeteksi kadar air pada tanah. Hal ini dibuktikan dengan hasil simulasi dan hasil pengukuran dengan objek tanah Andisol dan tanah Laterit menunjukkan bahwa parameter frekuensi mengalami perubahan terhadap kondisi tanah. Peningkatan kadar air pada tanah mempengaruhi nilai frekuensi pada pengukuran cenderung mengalami penurunan dari frekuensi kerja.
2. Pada perancangan antena mikrostrip *triangular patch*, diperoleh nilai parameter *return loss* -25,9151 dB dengan VSWR 0,88 dB. Pada antena *triangular* variasi

diperoleh nilai parameter *return loss* -22,5778 dB dengan VSWR 1,2935 dB pada frekuensi 3 GHz. Hasil tersebut dikatakan baik karena memenuhi spesifikasi yang diinginkan, yaitu *return loss* < -10 dB dan VSWR < 2 dB.

3. Pada pengukuran antenna mikrostrip *triangular* menggunakan objek tanah andisol dan tanah laterit, parameter yang paling berpengaruh adalah pergeseran frekuensi antenna. Pada kondisi tanah kering, frekuensi pada tanah andisol adalah 2,91 GHz dengan *return loss* -6,098 dB, sedangkan pada kondisi tanah basah, frekuensi menjadi 2,8 GHz dengan *return loss* -3,141 dB. Sementara pada tanah Laterit, frekuensi pada kondisi tanah kering adalah 2,9 GHz dengan *return loss* -4,762 dB, dan pada kondisi tanah basah, frekuensi menjadi 2 GHz dengan *return loss* -1,179 dB.
4. Hasil perbandingan dari simulasi dan pengukuran disebabkan oleh perbedaan permitivitas tanah dan sifat dari tanah yang tidak homogen sehingga mengakibatkan perbedaan nilai yang diperoleh antara simulasi dan pengukuran.

REFERENSI

- [1] Alaydrus, Mudrik. Antena Prinsip dan Aplikasi. Yogyakarta: Graha Ilmu. 2011
- [2] Arifin, Mahfud, N.D Putri, A.Sandrawati, R.Harryanto. Pengaruh Posisi Lereng terhadap Sifat Fisika dan Kimia Tanah pada *Inceptisols* di Jatinangor. Bandung: Universitas Padjadjaran. 2018.
- [3] Aulia, Marlita Rahman. Rancang Bangun Kalibrator Untuk Sensor Kadar Air Tanah. Yogyakarta: BMKG Stasiun Geofisika Yogyakarta. 2019
- [4] Darsono, M. Perancangan Antena Mikrostrip *Patch* Segitiga Polarisasi Lingkaran Untuk Aplikasi *Global Positioning Service* (GPS) Berbentuk Segiempat. Malang: Universitas Brawijaya. 2008.
- [5] E. Widyawati. Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip dengan Substrat Alumina Menggunakan Teknologi *Thick Film* untuk Aplikasi Radar Pengawas Pantai. Bandung: IT Telkom. 2013.
- [6] Fikana, Zahara Nur. Perancangan Antena Mikrostrip Sebagai Sensor Deteksi Kadar Air Pada Jagung. 2023.
- [7] Imam, P. Budi, E.S.Nugraha, A.Agung. Perancangan dan Analisis Antena Mikrostrip MIMO *Circular* Pada Frekuensi 2.35 GHz Untuk Aplikasi LTE. Purwokerto: ST3 Telkom. 2017.
- [8] M. Okta. Pengaruh Pemberian Herbisida Glifosat, Kompos, dan Kapur Terhadap Total Bakteri dan Bakteri Nitrosomonas pada Tanah Andisol yang Berasal Dari Pertanaman Kubis Yang Diberi Herbisida dan Pupuk Berkelanjutan. Lampung: Universitas Lampung. 2016.
- [9] Mishra, Pankaj Kumar. *Design and Analysis of Circular Patch Antenna for Determination the Moisture Content. Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*. 2019.
- [10] Mushtaq, M.T., Shah, S.M.A., Munir, dkk. *Dual Band Microstrip Semicircular Slot Patch Antenna for WLAN and WIMAX Applications*. Pakistan: *Radioengineering*, vol. 31 no.3. 2022.
- [11] N. Milatun, D. Krisdiyanto, P. Artsanti. Preprasi dan Karakteristik Tanah Laterit Menggunakan Aktivator Asam Fluorida. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga. 2022.
- [12] Nuraida. Analisis Kadar Air, Bobot Isi dan Porositas Tanah Pada Beberapa Penggunaan Lahan. Makassar: UIN Alauddin. 2021.
- [13] Nuryanti. T.A.Santya. Studi Kelayakan Kadar Air, Abu, Protein, dan Arsen (As) Pada Sayuran Di Pasar Sunter, Jakarta Utara, Sebagai Bahan Suplemen Makanan. Jakarta: Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta. 2018.
- [14] Pratiwi. A.D., Arseno, D. & Pramudita, A.A.. Metode Identifikasi Rongga Pada Batang Kayu Dengan Menggunakan Ground Penetrating Radar (GPR). Bandung: Universitas Telkom. 2019.

- [15] Putra, J.P., Rahayu. Perancangan Antena Dengan 2 Slot C Patch Lingkaran *Planar Array* 8 Elemen Dengan *Defected Ground Structure* Untuk Jaringan Komunikasi LTE 1800 Mhz. *Jom FTEKNIK*, 5(2). 1-7. 2018.
- [16] R. Effendi, S.Syamsudin, W.S.Sinambela, Soemarto. *Medan Elektromagnetika Terapan*. Jakarta: Erlangga. 2007.
- [17] Rhebergen Jan B, Lensen A, Schewering Piet. *Soil Moisture Distribution Around Land Mines and The Effect on Relative Permittivity*. New Mexico: *The International Society for Optical Engineering*. 2015.
- [18] Simanjuntak, Imelda., Rochendi, Agus Dendi, Salaman, Ketti Siti, dan Safitri, Diah Sucita. *Design of Triangular Array Microstrip Patch for Antenna 5G Application*. *JITE (Journal of Informatics and Telecommunication Engineering)*. 2021. 5(1): 176-187.
- [19] Utami, Cahyani Nur. *Estimasi Kandungan Air Pada Tanah Berbasis Perubahan Karakteristik Antena Mikrostrip*. Bandung: Universitas Telkom. 2021.



UNIVERSITAS
MERCU BUANA