

Analisis dan Perancangan *Microstrip Smart Antenna* pada *Ground Penetrating Radar*(GPR) untuk Pendeteksi Ranjau Darat dengan simulasi *CST Studio Suite*



Mayor Inf Imam Ashar, S.S.T., M.T.

Dosen/Kasiopsdik Poltekad Kodiklatad.

imamasharstmt@gmail.com

Abstract— Smart Antenna microstrip pendeteksi ranjau yang dirancang dan disimulasikan dengan Program *CST Studio Suite* menggunakan bahan PCB Double Layer FR-4(Lossy) Fiber Epoxy dengan konstanta dielektrik 4,3 dan ketebalan substrat 1,5 mm. Untuk patch dari bahan copper (tembaga) diletakkan di bagian atas substrat antenna. Kemudian, ground yang terbuat dari bahan copper (tembaga) diletakkan di bagian bawah substrat pada antenna microstrip dengan ketebalan 0.035 mm. Antena mikrostrip yang direncanakan memiliki frekuensi tengah di 2,45 GHz dengan frekuensi minimum 1 GHz hingga 3 GHz untuk frekuensi maksimumnya dengan persentase lebar pita sebesar 81,63 %. Nilai Gain dan directivity didapat masing-masing ialah 11,88 dB dan 6,471 dBi pada frekuensi 2,45 GHz. Antena mikrostrip pendeteksi ranjau memiliki nilai impedansi sebesar 50 Ohm dengan nilai VSWR = 1,67

Kata Kunci—*Microstrip Smart Antenna, GPR, CST Studio Suite.*

I. PENDAHULUAN

Ranjau darat merupakan alat peledak yang diletakkan di dalam atau di daerah permukaan bumi dengan tujuan untuk melukai dan membunuh manusia serta menghancurkan kendaraan. Ranjau darat umumnya digunakan selama konflik militer. Sebanyak 45 juta ranjau darat telah dimusnahkan di 159 negara sejak ditandatangani konvensi Ottawa, perjanjian

pelarangan ranjau. Indonesia merupakan salah satu negara yang ikut menandatangani perjanjian tersebut. Hingga saat ini TNI telah memusnahkan 16.581 stok ranjau darat yang tersimpan dalam gudang senjata milik TNI)[3].

Ledakan ranjau darat yang tidak disengaja bisa membunuh atau melukai 2000 orang atau lebih setiap bulan, terutama warga sipil. Ranjau darat bisa ditemukan diberbagai kondisi lingkungan, yaitu bisa di puing-puing bangunan, diperkotaan dan pedesaan pasca-konflik [12].

Jenis komposisi ranjau darat bervariasi, yaitu pertama jenis ranjau darat yang komposisinya ialah logam (wadah logam yang berisi bahan peledak) dan jenis kedua yaitu ranjau darat yang berkomposisi dielektrik (wadah plastik yang berisi bahan peledak).

Detektor logam yang sering dijadikan sebagai alat untuk deteksi ranjau darat hanya bisa mendeteksi ranjau darat yang terbuat dengan komposisi logam, namun tidak bisa digunakan untuk mendeteksi ranjau darat yang terbuat dari komposisi dielektrik (wadah plastik yang berisi bahan peledak). Oleh karena itu, antenna yang direncanakan akan menggunakan sistem radar penetrasi tanah atau *Ground Penetrating Radar* (GPR) yang mampu untuk mendeteksi semua ranjau darat yang terbuat dari logam maupun dielektrik (wadah plastik yang berisi bahan peledak)[3].

Sistem radar penetrasi tanah atau *Ground Penetrating Radar* (GPR) adalah merupakan sistem elektromagnetik yang digunakan untuk mendeteksi objek yang terkubur/tertanam di dalam tanah. Pada penelitian Yusnita Rahayu,

Hazwan dan M. Fadhlurrahman (2020) dalam jurnal yang berjudul Perancangan Antena mikrostrip pendeteksi ranjau Antena mikrostrip yang di usulkan memiliki frekuensi tengah di 790 MHz dengan lebar pita 86,53 MHz (dari 753,89 MHz hingga 840,42 MHz) dengan persentase lebar pita sebesar 10,9 %. Nilai Gain dan directivity didapat masing-masing ialah 1,6 dB dan 1,88 dBi pada frekuensi 790 MHz [11].

Ground Penetrating Radar (GPR) digunakan untuk penyelidikan dibawah permukaan tanah, seperti deteksi objek yang terkubur di bawah permukaan bumi, terowongan tersembunyi, kabel, pipa, dan ranjau darat. GPR menggunakan gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi objek yang terkubur di bawah tanah. Aplikasi GPR dapat dioperasikan dengan memancarkan energi ke tanah dan mendeteksi sinyal gema (sinyal pantulan) dari suatu objek atau target [7].

Antena mikrostrip adalah suatu antena yang memiliki bagian yakni *patch*, *substrate* dan *ground*. Antena mikrostrip banyak digunakan pada peralatan-peralatan dalam bidang Telekomunikasi modern, aplikasi radar militer dan lain-lain karena bentuknya yang sangat kecil namun mampu memberikan kemampuan kerja yang baik.

Antena Mikrostrip adalah merupakan antena dengan bentuk yang sederhana, murah untuk di fabrikasi dan karena bentuknya yang kecil, maka antena ini dapat dipasang pada pesawat yang berkinerja tinggi, pesawat ruang angkasa, satelit, rudal, mobil, dan bahkan perangkat seluler [6].

Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Vatanjeet Singh dkk. (2016) dalam jurnal yang berjudul "*Flexible FR-4 based Novel Ultra-Wide Band Microstrip Patch Antenna for Buried Landmine Detection applications*" telah menghasilkan antena untuk aplikasi deteksi ranjau yang terkubur pada frekuensi kerja 790 MHz dan antena sudah di fabrikasi serta sudah dilakukan pengujian menggunakan *Network Analyzer E5071C*.

Dalam jurnal ini antena yang diusulkan dapat digunakan pada aplikasi GPR dimana sinyal yang dipancarkan akan diarahkan ke bawah tanah/ground earth untuk mendeteksi letak keberadaan ranjau darat yang tersebar.

II. DASAR TEORI

1. Antena Mikrostrip

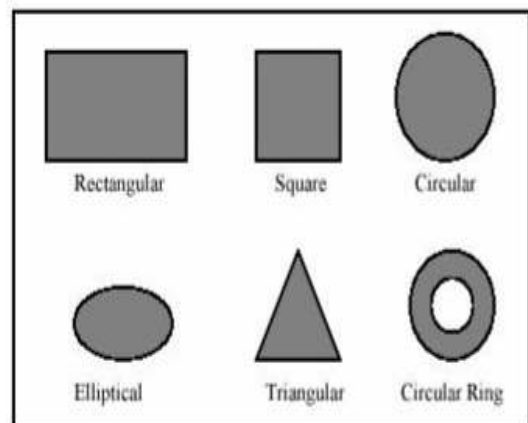
Antena mikrostrip memiliki bentuk dan ukuran yang ringkas sehingga dapat

digunakan untuk berbagai macam aplikasi yang membutuhkan spesifikasi antena yang berdimensi kecil sehingga dapat mudah dibawa dan dapat diintegrasikan dengan rangkaian elektronik lainnya (seperti IC, rangkaian aktif, dan rangkaian pasif). Antena ini dapat diaplikasikan pada berbagai kegunaan seperti komunikasi satelit, komunikasi radar, militer, dan aplikasi bergerak (mobile).

Antena *microstrip* adalah suatu konduktor metal yang menempel diatas *ground plane* yang diantaranya terdapat bahan dielektrik seperti tampak pada Gambar 1. Antena *microstrip* merupakan antena yang memiliki massa ringan, mudah untuk difabrikasi, dengan sifatnya yang konformal sehingga dapat ditempatkan pada hampir semua jenis permukaan dan ukurannya kecil dibandingkan dengan antena jenis lain. Karena sifat yang dimilikinya, antena *microstrip* sangat sesuai dengan kebutuhan saat ini sehingga dapat diintegrasikan dengan peralatan telekomunikasi lain yang berukuran kecil, akan tetapi antena *microstrip* juga memiliki beberapa kekurangan yaitu: *bandwidth* yang sempit, *gain* dan *directivity* yang kecil, serta efisiensi rendah. :[5]

Antena *microstrip* adalah salah satu jenis antena *wireless* yang paling populer digunakan saat ini. Ada beberapa alasan kenapa antena *microstrip* sangat terkenal:[5]

- Sangat mudah difabrikasi.
- Selaras dengan permukaan nonplanar.
- Sangat murah karena hanya dengan menggunakan papan cetak sirkuit.
- Fleksibel sehingga menghasilkan berbagai macam pola dan polarisasi yang berbeda.
- Strukturnya sangat kuat



Gambar 1. Jenis-jenis Antena Mikrostrip

2. Parameter-parameter Antena

a. Pola radiasi (Radiation Pattern). Pola radiasi dari suatu antena didefinisikan sebagai gambaran secara grafis dari sifat-sifat radiasi suatu antena sebagai fungsi koordinat ruang. Dalam kebanyakan keadaan pola radiasi ditentukan dalam daerah medan jauh dan dipresentasikan sebagai fungsi koordinat arah. Pola radiasi antena mikrostrip mempunyai fenomena yang sama dengan pola radiasi antena konvensional.

Pola radiasi merupakan fungsi perolehan yang dinormalkan terhadap nilai maksimumnya, fungsi perolehan ini merupakan karakteristik antena yang sangat penting yang dapat diukur dan dalam beberapa hal juga dapat dihitung. Fungsi perolehan menunjukkan suatu nilai maksimum yang sangat nyata, yang akan dinyatakan dengan G_M dan pola radiasi antena dinyatakan dalam hubungan sebagai berikut:

$$g(\theta, \phi) = \frac{G(\theta, \phi)}{G_M} \quad (1)$$

Dengan :

$g(\theta, \phi)$ = Pola radiasi antena

$G(\theta, \phi)$ = Fungsi perolehan antena

G_M = Nilai maksimum perolehan antena

Nilai maksimum G_M disini hanyalah perolehan dalam arti bahwa antena tersebut memusatkan atau memfokuskan daya pada arah maksimum untuk meningkatkan daya total yang diterima dan ini tidak meningkatkan daya total yang dipancarkan.

b. Penguatan (Gain). Penguatan daya total antena mikrostrip dapat ditentukan dari persamaan berikut

$$G = 10 \log \left(\frac{4\pi A}{\lambda_0^2} \right) - \alpha \left(\frac{D_1 + D_2}{2} \right) \quad (2)$$

Dengan :

G = Penguatan antena mikrostrip

D_1 = Panjang modul antena rancangan mikrostrip

D_2 = Lebar modul antena rancangan mikrostrip

A = Luas antena mikrostrip

α = Redaman substrat dan konduktor

c. Polarisasi (Polarization). Polarisasi suatu antena didefinisikan sebagai bentuk gerakan dari gelombang yang diradiasikan pada saat antena dioperasikan. Dengan kata lain polarisasi gelombang datang (incident wave) dari arah yang diberikan menghasilkan

daya maksimum pada terminal antena. Polarisasi dari energi yang diradiasikan berubah menurut arah antena, sehingga dengan pola yang berbeda akan memungkinkan mempunyai polarisasi yang berbeda pula. Polarisasi antena dibedakan menjadi tiga macam yaitu polarisasi linier, polarisasi lingkaran dan polarisasi elips.

d. Impedansi Karakteristik Saluran Mikrostrip. Dalam merencanakan suatu saluran mikrostrip impedansi karakteristik saluran merupakan parameter yang terpenting, karena dapat menentukan lebar dari saluran mikrostrip, tinggi bahan substrat dan konstanta dielektriknya. Hubungan antara ketiga besaran tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Z_0 = \frac{377}{\sqrt{\epsilon_r}} \left(\frac{h}{w} \right) \quad (3)$$

Dengan :

Z_0 = Impedansi karakteristik saluran (Ω)

ϵ_r = Permittivitas dielektrik relatif substrat

h = Ketebalan substrat (mm)

w = Lebar saluran mikrostrip (mm)

377 = Impedansi karakteristik pada ruang bebas

e. Keterarahan (Directivity). Directivity adalah kemampuan antena untuk mengkonsentrasikan energi pada arah yang diinginkan dibandingkan dengan intensitas radiasi pada arah lain. Ditinjau dari hasil percobaan directivity dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas radiasi maksimum dengan intensitas radiasi dari suatu sumber isotropis. Directivity pada antena mikrostrip dinyatakan dengan hubungan sebagai berikut:

$$D = \frac{4\pi \left(\frac{180}{\pi} \right)^2}{\Phi^0 \cdot \theta^0} \quad (4)$$

Dimana

$$D_0 = 10 \log D$$

Dengan:

D = Nilai Directivity

D_0 = Directivity antena (dB)

Φ = Sudut lebar berkas setengah daya (-3dB) untuk pola radiasi vertikal

θ = Sudut lebar berkas setengah daya (-3dB) untuk pola radiasi horisontal

e. Impedansi masukan terminal antena mikrostrip. Impedansi masukan antena perlu

diketahui agar keperluan pemindahan daya dari atau ke antenna menjad maksimum. Untuk menentukan impedansi masukan dari tiap elemen peradiasi dengan menggunakan persamaan berikut:

$$R_{in} = 60 \frac{\lambda_0}{W} \quad (5)$$

Dimana :

R_{in} = Impedansi masukan antenna (Ω)
 λ_0 = Panjang gelombang diruang bebas (m)
 W = Lebar strip konduktor (mm)

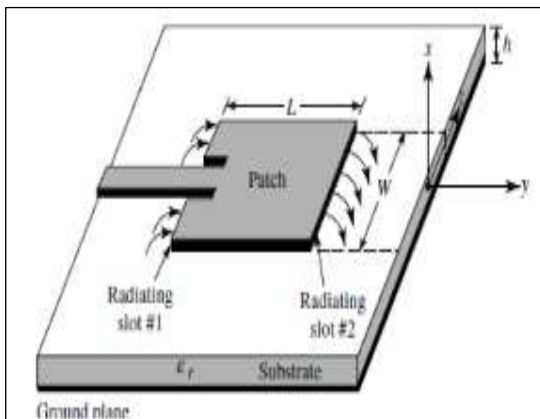
f. Batasan frekuensi pada substrat, perlu diketahui batasan frekuensi maksimum yang dapat dilewatkan pada substrat tanpa adanya pengaruh kopel antara gelombang permukaan. Besar frekuensi batasan maksimum diberikan dalam persamaan sebagai berikut:

$$f_m = \frac{c \times \tan^{-1} \epsilon_r}{\pi \times h \sqrt{2(\epsilon_r - 1)}} \quad (6)$$

Dimana:

f_m = Frekuensi maksimum pada substrat (Hz)
 c = Kecepatan cahaya diudara bebas (m/det)
 h = Tinggi substrat (mm)
 ϵ_r = Konstanta dielektrik relatif substrat

g. Saluran Transmisi Antena Mikrostrip



Gambar 2. Struktur Dasar Saluran Mikrostrip (Balanis 2005)

Dasar perancangan antenna mikrostrip dapat ditentukan melalui dimensi panjang (L) dan dimensi lebar (W) sbb:

a. Panjang Patch (Lp)

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (7)$$

b. Lebar Patch (Wp)

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}} \quad (8)$$

Dimana :

W : Lebar konduktor
 ϵ_r : Konstanta dielektrik
 c : Kecepatan cahaya diruang bebas (3×10^8)
 f_0 : Frekuensi Kerja antenna

Sedangkan untuk menentukan frekuensi resonansi (f_r) dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$f_r = \frac{V_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (9)$$

Sedangkan untuk menentukan panjang patch (L) diperlukan parameter yang merupakan pertambahan panjang dari L akibat adanya *fringing effect*. Pertambahan panjang dari L (ΔL) tersebut dirumuskan dengan :

$$\Delta L = 0,412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad (10)$$

Dimana h merupakan tinggi substrata atau tebal substrat, dan ϵ_{reff} adalah konstanta dielektrik relative yang dirumuskan sebagai:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W}}} \right) \quad (11)$$

Dengan Panjang patch (L) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (12)$$

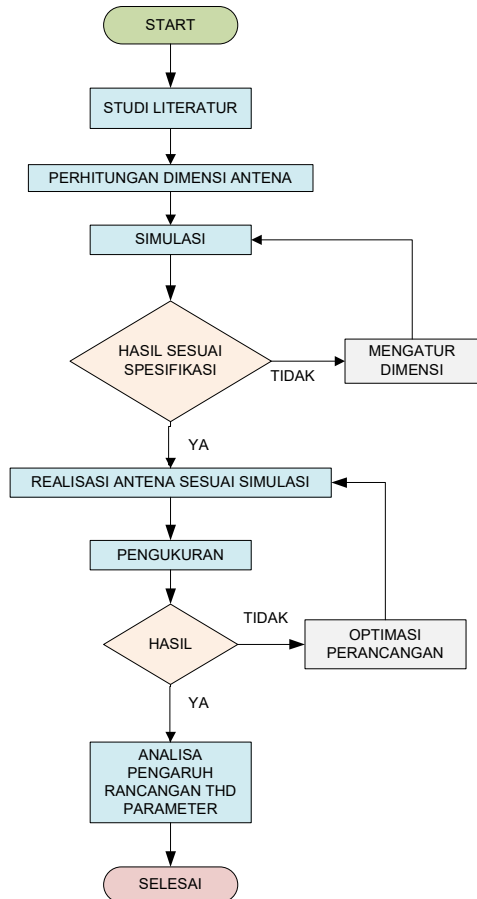
Dimana L_{eff} merupakan Panjang Patch efektif yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (13)$$

III. METODE PENELITIAN DAN PERANCANGAN

Pada Penelitian ini mengeksplorasi Analisis dan perancangan perhitungan smart antenna mikrostrip dengan frekuensi resonan 2,45 GHz untuk Ground Penetrating Radar pada pendeteksi ranjau darat.

1. Diagram Alir Perancangan



Gambar 3. Diagram Alir Perancangan

Setelah menentukan dan merancang bentuk antenna, maka tahap selanjutnya adalah melakukan simulasi antenna menggunakan software CST Studio Suite. Jika hasil pada proses simulasi antenna tersebut tidak memenuhi parameter yang diharapkan, maka dilakukan proses penyesuaian/karakterisasi antenna agar mendapatkan hasil parameter yang optimal. Dalam proses penyesuaian/ karakterisasi antenna secara umum untuk menentukan frekuensi kerja dari antenna adalah dengan memperbesar atau memperkecil dimensi *patch* antenna tersebut.

Pada penyesuaian karakterisasi antenna yang direncanakan, antenna di karakterisasi dengan menghilangkan atau menambahkan *patch* horizontal pada antenna dan sedikit penambahan slot pada bagian *ground* antenna.

2. Rekayasa Perhitungan dimensi fisik dan pengukuran karakteristik Smart Antenna.

a. Spesifikasi Substrat dan Konduktor.

Rekayasa perancangan ini menggunakan substrat jenis FR4 dengan konstanta permitivitas dielektrik relative substrat (ϵ_r) sebesar 4,4 dengan ketebalan substrat (h) 1,5 mm, strip konduktor (t) sebesar 0,035 mm. Maka batasan frekuensi yang dapat dilewatkan dengan menggunakan bahan tersebut adalah :

$$f_m = \frac{c \times \tan^{-1} \epsilon_r}{\pi \times h \sqrt{2(\epsilon_r - 1)}}$$

$$f_m = \frac{3.10^8 \times \tan^{-1} 4,3}{3,14 \times 1,5.10^{-3} \sqrt{2(4,3 - 1)}} = 32,786 \text{ GHz}$$

b. Panjang elemen peradiasi

$$L = 0,49 \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$L = 0,49 \frac{377}{\sqrt{4,3}} = 28,92 \text{ mm}$$

c. Lebar elemen peradiasi

$$W = \frac{V_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$$

$$W = \frac{300}{2(2,45)} \sqrt{\frac{2}{4,3 + 1}} = 37,61 \text{ mm}$$

d. Impedansi Masukan elemen peradiasi

$$R_{in} = 60 \frac{\lambda_0}{W}$$

$$R_{in} = 60 \frac{0,122}{37,61} = 195 \text{ Ohm}$$

e. Frekuensi resonansi yang bekerja pada smart antenna mikrostrip adalah :

$$f_r = \frac{V_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$f_r = \frac{3 \times 10^8}{2(29,1)\sqrt{4,3}} = 2,48 \text{ GHz}$$

f. Analisis proses perhitungan Penguatan Antena

$$G = 10 \log \left(\frac{4\pi A}{\lambda_0^2} \right)$$

$$G = 10 \log \left(\frac{4\pi 0,1695}{0,122^2} \right)$$

$$= 11,88 \text{ dB}$$

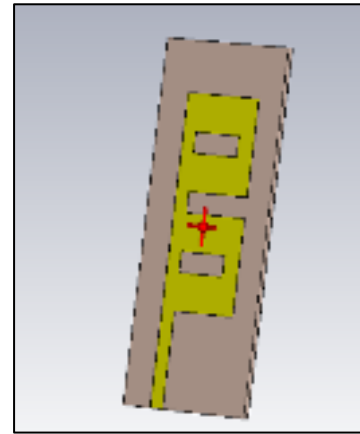
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Perencanaan optimasi Dimensi Antena.

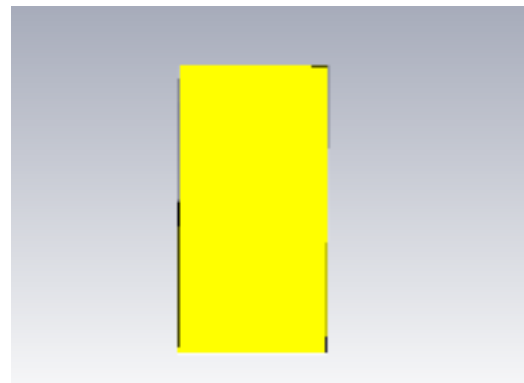
Antena yang rencanakan terdiri dari bagian substrat yang di atasnya terdapat *patch* antena, dan *ground* yang terletak di bagian bawah substrat antena. Kinerja antena di analisis dengan parameter VSWR , *Return Loss* (dB), , *Directivity* (dBi), *Gain* (dB), Lebar pita (MHz), dan Impedansi Antena (Ohm). Tabel dimensi antena dibawah ini adalah tabel dimensi antena yang nilai nya didapat dari hasil penyesuaian/karakterisasi serta optimasi antenna yang direncanakan.

Tabel 1. Dimensi Antena Rancangan

No	Simbol dimensi	Dimensi (mm)	No	Simbol dimensi	Dimensi (mm)
1	Wp	31,60	10	Lg	25
2	Lp	90	11	Hg	0,03
3	Hp	0,035	12	A	6
4	Wf	5,6	13	B	17
5	Lf	25	14	C	5
6	Ws	54	15	D	25
7	Ls	105	16	E	17
8	Hs	1,5	17	F	11
9	Wg	80	18	G	2,6

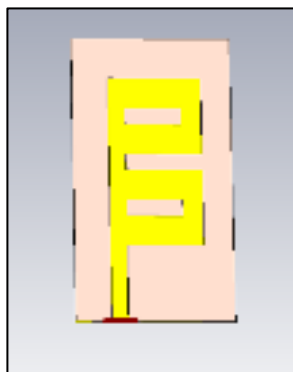


Gambar 5. Sketsa Antena Hasil Rancangan

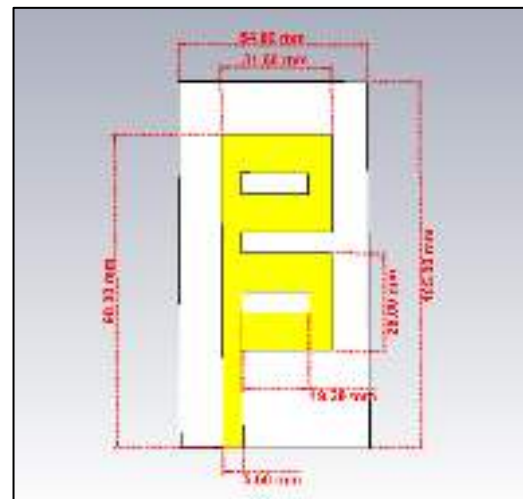


Gambar 6. Sketsa Antena Hasil Rancangan bagian Ground Plane

2. Rancangan dimensi fisik dengan Program CST Studio Suite



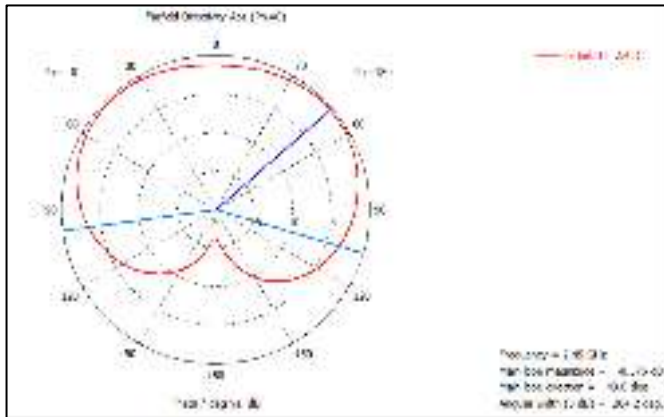
Gambar 4. Bentuk Antena Rancangan



Gambar 7. Sketsa Dimensi Antena Hasil Rancangan dengan Program CST Studio Suite

3. Hasil Perhitungan pola radiasi dengan Program CST Studio Suite

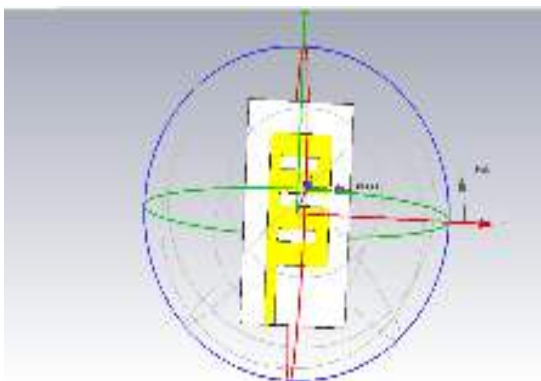
Pola Radiasi yang terbentuk bidireksional dengan model pengukuran vertikal



Gambar 8. Bentuk Pola Radiasi Antena

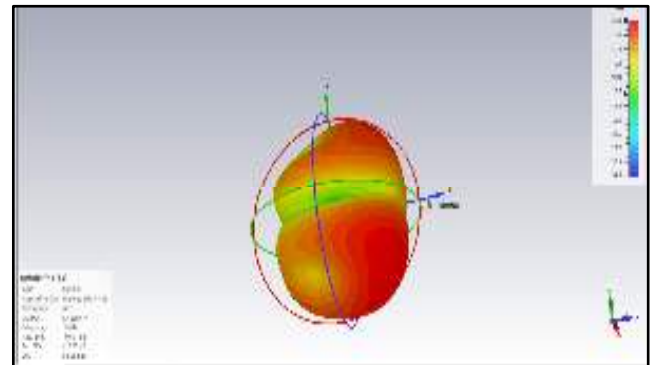


Gambar 9. Bentuk Pola Impedansi Antena hasil Rancangan pada Program CST Studio Suite

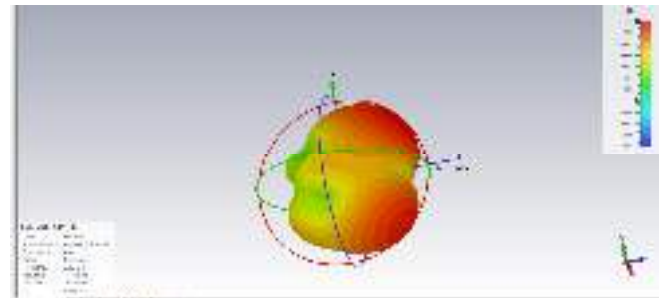


Gambar 10. Bentuk Pola Medan Jauh(Farfield) Smart Antenna pada Program CST Studio Suite

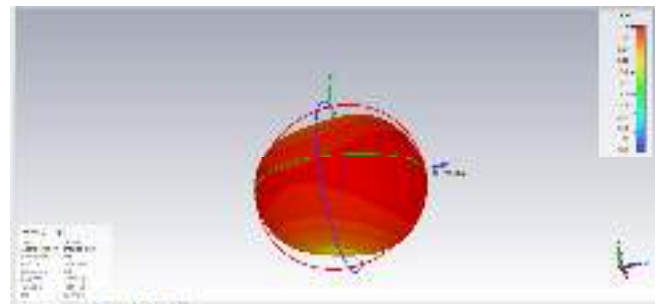
4. Hasil Perhitungan Direktivity antena dengan Program CST Studio Suite



Gambar 11. Bentuk Direktivity Antena frekuensi 3 GHz



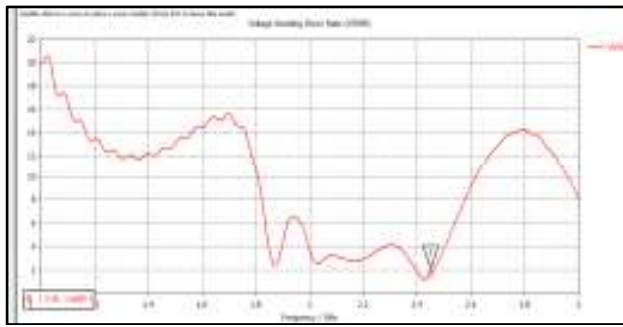
Gambar 12. Bentuk Direktivity Antena frekuensi 2,45 GHz



Gambar 13. Bentuk Direktivity Antena frekuensi 1 GHz

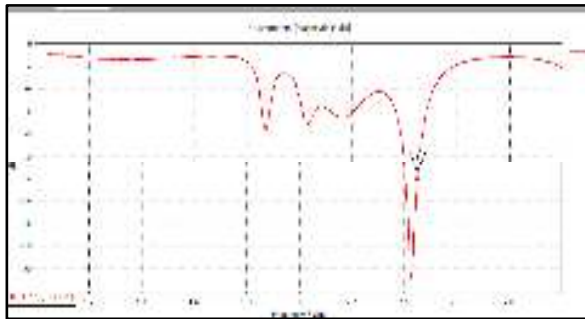
Dari hasil simulasi dengan program CST SUIT terlihat bahwa nilai directivity antena mikrostrip didapatkan perhitungan 6,471 dBi pada frekuensi resonansi 2,45 Ghz.

5. Hasil Perhitungan VSWR antena dengan program CST Studio Suite

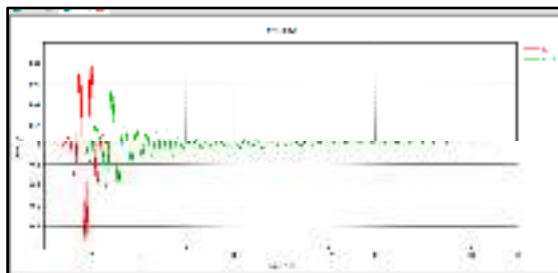


Gambar 14. Grafik VSWR Antena hasil sketsa Rancangan

Dari hasil simulasi dengan CST SUIT terlihat bahwa VSWR antena mikrostrip didapatkan perhitungan 1,67 pada frekuensi resonansi 2,45 Ghz. Hal ini membuktikan bahwa antena dapat bekerja dengan baik



Gambar 15. Grafik S-Parameter Antena hasil rancangan



Gambar 16. Grafik port Signal Antena hasil Rancangan

Dari hasil data perhitungan diperoleh beberapa hasil yang dapat direferensikan. VSWR terbaik didapatkan 1,63 maka antena mikrostrip hasil rancangan termasuk jenis antena Resonan yang beresonansi tepat pada frekuensi 2,45 Ghz

V. KESIMPULAN

Analisis dan perancangan smart antena mikrostrip patch dari hasil perhitungan dengan program CST Studio Suite didapatkan frekuensi resonansi antena 2,4543 GHz dengan memiliki frekuensi tengah di 2,45 GHz dengan frekuensi minimum 1 GHz hingga 3 GHz untuk frekuensi maksimumnya dengan persentase lebar pita sebesar 81,63 %. Directivity antena didapatkan perhitungan 6,471 dBi, gain Antena 11,88 dB dengan VSWR 1,67. Dengan demikian antena dapat bekerja baik di jalur ground penetrating radar.

REFERENCES

- [1] Constantine A Balanis, . Antena Theory, Analysis and Design, New York, 1982 .
- [2] Andy Wiryanto, "Perancangan Antena Mikrostrip Linear Array 4 Elemen Dengan Teknik Slot Untuk Aplikasi GPS". 2008.
- [3] <https://www.ugm.ac.id/id/berita/4148-tni-musnahkan-16-581-stok-ranjau-darat>
- [4] James J.R. dan P.S Hall (1989) Hand Book Microstrip Antennas, IEEE Electromagnetic ave series.
- [5] Koesmarijanto,ST,MT, Dasar Sistem Telekomunikasi, Poltek Negeri Malang.
- [6] Kraus Jhon D(1988). Antennas . McGraw Hill 2nd end International New York.
- [7] Khalid,N., Z. Ibrahim, M.N.A. Karim. *Directional and Wideband Antenna for Ground Penetrating Radar (GPR) Applications*. 2016
- [8] Leung, Martin. 2002. Microstrip Antenna Using Mstrip40. Division of Management and Technology University of Canberra Act 2601.
- [9] Nakar, Punit S. 2004. Design of a Compact Microstrip Patch Antenna for use in Wireless/Cellular Devices. The Florida State University. Thesis.
- [10] Robert E. Munson, Mikrostrip Antennas, Ball Communication System Division.
- [11] Singh, Vatanjeet and Ekambir Sidhu. *Flexible FR-4 based Novel Ultra-Wide Band Microstrip Patch Antenna for Buried Landmine Detection applications*. 2016
- [12] Yusnita Rahayu, Hazwan, M. Fadhlurrahman Hilmi, Perancangan Antena Mikrostrip Pendeteksi Ranjau, *ISSN (Online) : 2579-5406, 1 Desember 2020*
Zakarificiu RA, Microwave Engineering Using mikrostrip Circuit, Prentice Hall Sydney, 1990.