

Rancang Bangun Antena Bow-tie Antipodal Untuk Aplikasi *Ground Penetrating Radar* (GPR) Dengan Metode B-Scan

Febrian Rizqo Dwi R

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya
e-mail : febrian.18063@mhs.unesa.ac.id

Nurhayati, Lilik Anifah, Raden Roro Hapsari Peni Agustin Tjahyaningtjas

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya
e-mail : nurhayati@unesa.ac.id, lilikanifah@unesa.ac.id, hapsaripeni@unesa.ac.id

Abstrak

Dengan berkembangnya teknologi telekomunikasi, antenna banyak digunakan untuk aplikasi telekomunikasi radio dan radar. Antena bow-tie memiliki keunggulan dalam kemudahan dan murah dalam pembuatannya akan tetapi antenna jenis ini memiliki beberapa kekurangan seperti *bandwidth* yang sempit. Radar adalah sistem yang bekerja dengan memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi suatu objek. *Ground Penetrating Radar* (GPR) adalah sistem bagian dari radar pendeteksian dan mencitrakan objek tertentu yang berada di bawah permukaan tanah. Dengan menggunakan substrat FR-4 *lossy* dengan konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4.3 dan ketebalan (h) = 1.6 mm, antena bow-tie antipodal dirancang untuk digunakan untuk sistem GPR dengan metode B-Scan. Dimensi antena adalah 275 x 250 mm, dengan sisi atas 108 mm dan sisi bawah 107 mm, dan tinggi saluran transmisi 150 mm. Pada pengaplikasian GPR percobaan dilakukan dengan pengambilan data dengan objek yang terkubur pada kedalaman 4 cm dan 8 cm dibawah permukaan tanah. Hasil simulasi antena bow-tie antipodal menunjukkan bahwa antena memiliki kemampuan untuk beroperasi pada frekuensi mulai dari 1.73 GHz hingga 3.862 GHz. Nilai *gain* tertinggi dihasilkan pada frekuensi 9 GHz sebesar 4,29 dBi dengan polarisasi *elips* dengan jenis pola radiasi *omnidirectional*. Pada kedalaman 8 cm, hasil yang ditunjukkan oleh objek beton, kayu, dan plastik hampir sama dengan hasil pendeteksian tanpa objek. Pada bagian besi, hasil yang ditunjukkan oleh objek terlihat, tetapi kurang jelas.

Kata Kunci : Antena bow-tie, Antipodal, Parameter, *element*, *Ground Penetrating Radar* (GPR), B-scan.

Abstract

With the development of telecommunications technology, antennas are widely used for radio and radar telecommunications applications. Bow-tie antennas have the advantage of being easy and cheap to manufacture, however this type of antenna has several disadvantages such as narrow bandwidth. Radar is a system that works by emitting and receiving electromagnetic waves to detect an object. *Ground Penetrating Radar* (GPR) is a system that is part of the radar for detecting and imaging certain objects below the ground surface. By using a *lossy* FR-4 substrate with a dielectric constant (ϵ_r) = 4.3 and thickness (h) = 1.6 mm, an antipodal bow-tie antenna is designed to be used for a GPR system using the B-Scan method. The antenna dimensions are 275 x 250 mm, with an upper side of 108 mm and a lower side of 107 mm, and a transmission line height of 150 mm. In the application of GPR, the experiment was carried out by collecting data with objects buried at a depth of 4 cm and 8 cm below the ground surface. The simulation results of the antipodal bow-tie antenna show that the antenna has the ability to operate at frequencies ranging from 1.73 GHz to 3.862 GHz. The highest gain value was produced at the 9 GHz frequency of 4.29 dBi with elliptical polarization with an omnidirectional radiation pattern. At a depth of 8 cm, the results shown by concrete, wood and plastic objects are almost the same as the detection results without objects. On the iron part, the results indicated by the object are visible, but less clear.

Keywords : Bow-tie antenna, Antipodal, Parameters, *element*, *Ground Penetrating Radar* (GPR), B-scan.

PENDAHULUAN

Ketika teknologi telekomunikasi semakin berkembang, banyak peneliti sedang mengembangkan teknologi komunikasi seperti antena. Dengan mengalir arus listrik, antena dapat menghasilkan induksi magnet dan kuat medan magnet (Setiawan, 2019). Terdapat banyak jenis antena salah satunya adalah antena mikrostrip. Antena mikrostrip yaitu antena yang secara konseptual terdiri atas dua Langkah, yaitu: perancangan model saluran transmisi dan perancangan ukuran dan model elemen peradiasi (*patch*). Antena mikrostrip memiliki beberapa

bentuk *patch*, salah satunya adalah *patch* segitiga atau disebut juga bow-tie. Antena mikrostrip memiliki poin positif dan juga poin negatif, poin positifnya adalah kemudahan pembuatannya dan biaya yang dikeluarkan relatif murah, Meskipun murah dan mudah dibuat, antena mikrostrip memiliki kekurangan, yaitu *bandwidth* yang sempit. Untuk mengatasi masalah ini, antena mikrostrip dimodifikasi dengan bentuk *patch antipodal*. Antena bow-tie *antipodal* merupakan perkembangan dari bentuk *patch* segitiga biasa, dengan

dua lengan *patch* bow-tie berlawanan satu sama lain (Anzani. dkk, 2021) Antena mikrostrip dalam penerapannya biasanya banyak dipakai untuk sistem pendeteksi atau radar.

Radio Detection and Ranging atau radar adalah sistem kerja gelombang elektromagnetik untuk mengidentifikasi objek diam, mengukur jarak, mengukur arah, dan mendeteksi kecepatan suatu objek bergerak seperti pesawat terbang, kendaraan bermotor (Melvin & Scheer, 2010). Pada awalnya, radar hanya dikembangkan untuk mendeteksi objek di atas langit, di atas permukaan tanah, dan di laut. Namun, saat ini teknologi radar mulai digunakan untuk berbagai tujuan, seperti mengukur gelombang laut, kemiliteran, dan gambar medis, dll (Knödel, 2007). Dengan perkembangan teknologi radar saat ini, salah satu teknologi yang paling relevan untuk pendeteksian skala pendek adalah *Ground Penetrating Radar* (GPR).

Ground penetrating radar (GPR), juga dikenal sebagai Georadar, adalah sistem radar yang digunakan untuk mendeteksi dan mencitrakan objek tertentu di dalam tanah. Ini bekerja dengan metode geofisika yang mentransmisikan dan menerima gelombang radio berfrekuensi tinggi yang dipancarkan. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi kondisi di permukaan tanah (Congedo. F, 2009). Karena antena berfungsi sebagai *front end* dalam pengiriman dan penerimaan data dan meradiasikan pulsa sempit ke tanah, antena sangat memengaruhi hasil pendeteksian bawah tanah. Kemampuan sistem GPR bekerja lebih baik dengan tingkat kehilangan dan distorsi yang lebih rendah. Selain memiliki gain dan *direktivitas* yang tinggi, antena *ultrawide-band* (UWB) dengan frekuensi antara 0,01 GHz - 10 GHz memenuhi karakteristik untuk sistem *Ground Penetrating Radar* (GPR). (Liu. dkk, 2018). Untuk aplikasi GPR, antena bow-tie dan TEM *horn* sangat bagus dan sering digunakan. Jenis antena lain, seperti *vivaldi*, *valentine*, *rugby*, *log periodic*, dan sebagainya, juga dapat digunakan. (Chakrabarti. dkk, 2016). Contoh alat GPR yang sudah diproduksi secara masal adalah model 52600 dan model 51600S yang telah dikomersialkan oleh perusahaan manufaktur *Geophysical Survei Systems, Inc* (GSSI) dan telah ditetapkan oleh *Federal Communication Commission* (FCC), dimana pada model 52600 beroperasi menggunakan 2.6 GHz sebagai standart frekuensi dan model 51600S beroperasi menggunakan 1.6 GHz sebagai standart frekuensi (FCC, 2002).

B-Scan adalah salah satu metode pencitraan yang didasarkan pada hasil pendeteksian GPR. Metode ini menggunakan antena yang menghadap ke bawah untuk memindai area yang akan dideteksi, dan kemudian data direkam melalui monitor. Untuk mengidentifikasi objek di bawah tanah, data S21 dari GPR diproses dalam pencitraan B-scan. Ini membuat data lebih mudah bagi pengguna untuk menentukan objek (Alindra. dkk, 2017).

Oleh karena itu, Dalam penelitian ini akan dibuat antena dengan desain *patch* segitiga bolak-balik atau disebut dengan antena bow-tie *antipodal*, dengan

rentang kerja frekuensi pada antena di 500 MHz sampai 4000 MHz dengan tujuan agar didapatkan antena dengan *gain* yang tinggi, dan *bandwidth* yang dihasilkan lebar dan efektif diterapkan untuk aplikasi GPR.

KAJIAN TEORI

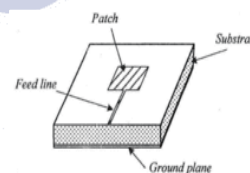
Antena

Beberapa para ahli yang membahas antena mengatakan bahwa antena adalah konduktor elektrik atau sistem konduktor elektrik yang melakukan dua hal: meradiasikan energi elektromagnetik dan mengumpulkannya (Staling, 2002). antena merupakan batangan konduktor yang dialiri arus listrik yang akan menimbulkan *induksi* magnet dan kuat medan magnet. (Setiawan, 2019). Antena dalam penerapannya memiliki berbagi fungsi seperti:

1. Saat antena mengubah sinyal listrik menjadi sinyal elektromagnetik atau sebaliknya, antena berfungsi sebagai konverter.
2. Apabila antena memancarkan gelombang elektromagnetik ke udara bebas, antena berfungsi sebagai radiator.
3. Jika antena selalu menyesuaikan impedansi sistem (saluran transmisi dan udara bebas), antena dapat berfungsi sebagai pengaturan impedansi (Setiawan, J. dkk, 2018).

Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip (*microstrip antenna*) atau bisa disebut dengan antena *patch* adalah sebuah lempengan konduktor tipis yang dibatasi oleh substrat, bahan isolator (Rambe, 2012). Pada tahun 1953 Deschamps mengagas teori antena mikrostrip, lalu kemudian pada tahun 1955 teori tersebut dipatenkan oleh Gutton dan Baissinot. Bagian antena mikrostrip sendiri tersusun dari *Patch*, substrat, dan *ground plane* dan *feed line* (Mehta, 2015).



Gambar 1. Struktur Utama Antena Mikrostrip (Sumber: Rambe, 2012)

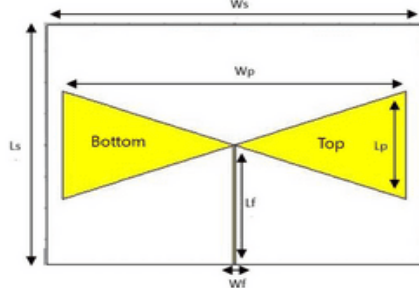
Antena Mikrostrip Bow-tie

Antena mikrostrip memiliki berbagai macam bentuk *patch*, salah satunya berbentuk bow-tie. Karena *bandwidth* lebar dan *beam* yang sempit, bentuk *patch* mikrostrip berbentuk bow-tie banyak digunakan pada sistem GPR, berbeda dengan bentuk *patch Vivaldi* dan TEM *Horn* (Anzani. dkk, 2021).

Struktur Antena Bow-tie Antipodal

Bentuk bow-tie *antipodal* merupakan pengembangan dari bentuk *patch* segitiga, dua lengan *patch* bow-tie yang berlawanan satu sama lainnya dan terletak di lapisan yang berbeda yang tidak sejajar (Anzani. dkk, 2021).

Karena teknik pencatutan *microstrip-to-slotline*, struktur *antipodal* dipilih karena memiliki rugi-rugi radiasi tinggi. Struktur *antipodal* dapat digunakan untuk pencatutan garis mikrostrip dan memiliki *bandwidth* yang lebih lebar daripada struktur *coplanar*. Struktur bow-tie *antipodal* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur Bow-tie Antipodal
(Sumber: Anzani. dkk, 2021)

Untuk mencari Panjang *substrat* (L_s) dan lebar *substrat* (W_s) dapat digunakan persamaan 1 dan 2:

$$L_s \geq \frac{1}{2} L_p + 3h + L_f \quad (1)$$

$$W_s \geq 6h + W_p \quad (2)$$

Untuk menentukan panjang *patch* (L_p) dan lebar *patch* (W_p) dapat digunakan persamaan 3 dan 4:

$$L_p = 2\alpha_{eff} \sin \theta \quad (3)$$

$$W_p = 2\alpha_{eff} \cos \theta \quad (4)$$

Parameter Antena

Return Loss

Return loss adalah Koefisien refleksi, yang diwakili dengan satuan desibel (dB), menggambarkan perbandingan antara daya yang dipantulkan dan daya yang masuk. (Agustini dan Nurhayati, 2021). Nilai *return loss* dihitung dengan persamaan 5:

$$RL = 20 \log |\Gamma| \text{ dB} \quad (5)$$

Keterangan :

RL = Return Loss

Γ = Koefisien refleksi

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

VSWR adalah rasio perbandingan antara gelombang datang dan gelombang pantul dimana kedua gelombang tersebut membentuk gelombang berdiri. Kondisi dimana VSWR dinilai baik adalah jika VSWR bernilai 1 dan batas untuk toleransi bernilai 2 sesuai berdasarkan perumusan *Return Loss* (Dean. R. E, 2011). Nilai VSWR didapatkan dari persamaan 6:

$$S = \frac{|V|_{\max}}{|V|_{\min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (6)$$

Keterangan :

S = VSWR

$|V|_{\max}$ = Gelombang tegak tertinggi

$|V|_{\min}$ = Gelombang tegak terendah

Γ = Koefisien refleksi

Bandwidth

Bandwidth adalah rentang frekuensi dimana kinerja antena yang menunjukkan batas atas dan batas bawah frekuensi antena dalam pemancarnya (impedansi input, pola radiasi, polarisasi, *gain*, VSWR, dan *return loss*) memenuhi spesifikasi standar (Dean, R. E., 2011).

Gain

Gain yaitu membandingkan antara rapat daya per satuan unit antena dengan rapat daya antena referensi pada arah dan daya yang sama. *Gain* didefinisikan sebagai 4π kali rasio dari intensitas radiasi secara isotropik dari kekuatan antena (Agustini dan Nurhayati, 2021). *Gain* dinyatakan dengan persamaan 7:

$$Gain = 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{P_{in}} \quad (7)$$

Keterangan :

$U(\theta, \varphi)$ = Intensitas radiasi

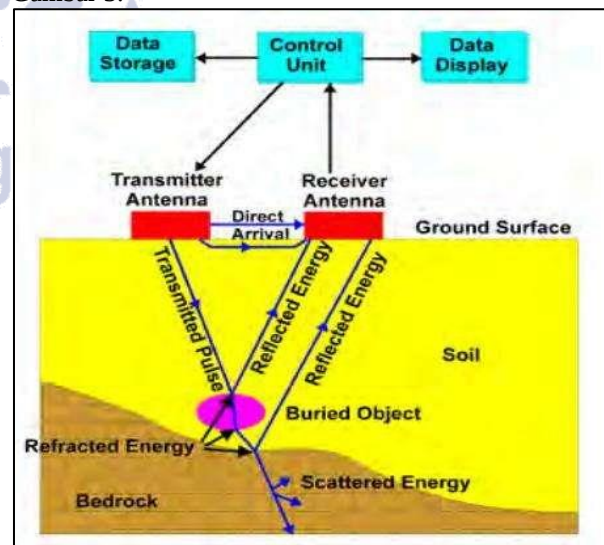
P_{in} = Daya input total diterima

Pola Radiasi

Pola radiasi pada antena menggambarkan grafis dari karakteristik radiasi antena, serta sebagai fungsi dan koordinat ruang. Pola radiasi juga menggambarkan arah dan besarnya radiasi pada antena. Pola radiasi diukur pada medan yang jauh dan digambarkan sebagai koordinat arah. Ada dua pola radiasi yaitu pola radiasi *vertikal* dan pola radiasi *horizontal* (Agustini dan Nurhayati, 2021).

Ground Penetrating Radar (GPR)

GPR adalah sebuah alat yang dapat mendeteksi suatu keadaan bawah permukaan. GPR bekerja dengan metode geofisika yang mengirimkan sekaligus menerima gelombang radio berfrekuensi tinggi yang dipancarkan untuk mengidentifikasi suatu keadaan dalam permukaan tanah (Congedo. F, 2009). skema *Ground Penetrating Radar* (GPR) ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema *Ground Penetrating Radar* (GPR)
(Sumber: Oktafiani, 2010)

GPR yang bekerja mirip seperti radar memiliki beberapa faktor yang berpengaruh dalam penentuan parameter antenna yang digunakan, yaitu (Arcone, 1991):

1. Jenis objek yang akan dideteksi.
2. Kedalaman objek.
3. Karakteristik elektrik medium tanah atau properti elektrik.

Dalam proses pendeteksian, maka akan didapatkan suatu citra dari bentuk serta lokasi benda yang dideteksi di bawah permukaan. Untuk menghasilkan pendeteksian yang baik sistem GPR harus memenuhi beberapa persyaratan, yaitu (Arcone, 1991):

1. Kopling radiasi yang efisien ke dalam tanah.
2. Penetrasi gelombang elektromagnetik yang efisien.
3. Menghasilkan sinyal dengan *amplitudo* yang besar dari objek yang dideteksi.

METODE

Tujuan Operasional Penelitian

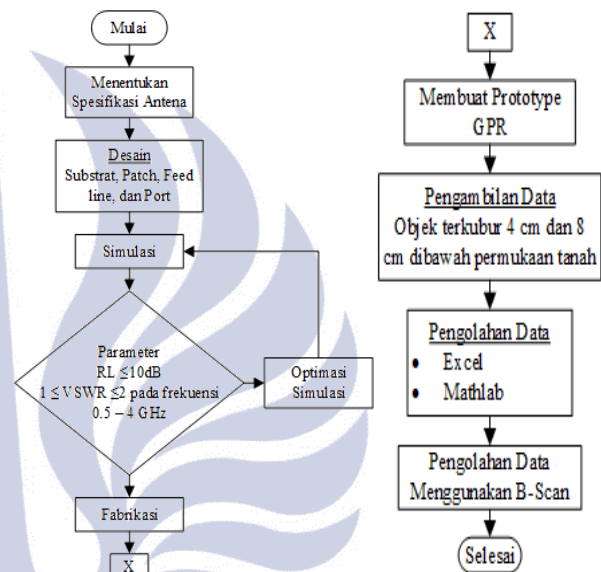
Penelitian ini memiliki tujuan untuk membuat antenna *antipodal* dengan bentuk *patch* segitiga yang berguna sebagai alat pendeteksi benda bawah tanah atau *Ground Penetrating Radar* (GPR). Berdasarkan penelitian sebelumnya, antenna bow-tie *antipodal* dapat beroperasi untuk *Ground Penetrating Radar* (GPR) dengan berbagai frekuensi kerja dan nilai *bandwidth* yang berbeda. Oleh sebab itu, penelitian kali ini akan dibuat antenna *antipodal* dengan *patch* segitiga dengan harapan untuk dapat mencapai parameter *return loss* (RL) < -10dB, $1 \leq VSWR \leq 2$, dan *bandwidth* yang lebar > 1000 MHz.

Hardware Nano Vector Network Analyzer (VNA) digunakan untuk menerapkan hasil desain untuk sistem *Ground Penetrating Radar* (GPR). VNA berfungsi sebagai sumber daya untuk antenna yang akan memancarkan gelombang sinyal, dan *software Nano VNA Saver* merekam dan mengumpulkan data dari proses pemindaian. Hasilnya, berdasarkan data yang telah diperoleh sebelumnya, MatLab *software* digunakan untuk menampilkan perbandingan grafik parameter *scattering* pencitraan B-Scan.

Alur Penelitian

Alur penelitian dimulai dengan menentukan spesifikasi antenna yang sesuai dengan standar antenna bow-tie *antipodal*, jalur penelitian kemudian menentukan panjang dan lebar substrat antenna. Kemudian dilakukan simulasi dari hasil desain antenna. Untuk mendapatkan antenna yang baik untuk pengaplikasian GPR maka parameter antenna harus memenuhi syarat sebagai berikut: $RL < -10\text{dB}$, $1 \leq VSWR \leq 2$ yang bekerja pada frekuensi 0,5 - 4 GHz, apabila parameter antenna yang dihasilkan dari simulasi tidak sesuai dengan yang dicari maka harus dilakukan pembentukan ulang struktur antenna dengan mengubah panjang *patch*, lebar, dan substrat sampai didapatkan antenna sesuai dengan parameter yang dibutuhkan.

Setelah hasil simulasi memenuhi persyaratan parameter antenna yang diinginkan, langkah selanjutnya adalah melakukan fabrikasi atau pencetakan antenna menjadi *board* melalui pihak ketiga. Setelah fabrikasi selesai, maka akan dibuat prototipe alat GPR. Percobaan pemindaian kemudian dilakukan menggunakan prototipe GPR yang telah dibuat sebelumnya. Prototipe ini memiliki dua antenna bow-tie *antipodal* yang digunakan untuk sensor GPR. Setelah percobaan selesai, langkah terakhir adalah mengolah data yang dikumpulkan untuk memungkinkan analisis kinerja antenna. Setelah proses analisis selesai, suatu kesimpulan dapat dibuat. Gambar 4 menunjukkan diagram alir penelitian.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi Antena

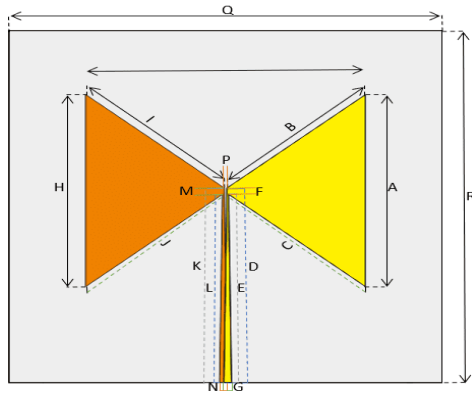
Penelitian antenna mikrostrip UWB ini didesain menggunakan substrat FR-4 *lossy* dengan dengan tebal substrat 1,6 mm, tebal tembaga 0,025 mm, dan konstanta dielektrik 4,3. Berikut adalah parameter antenna ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Desain Antena Bow-tie Antipodal

Parameter	Nilai
Frekuensi	0.5-4 GHz
vKonstanta Dielektrik	4,3
Tebal Substrat	1,6 mm
Return Loss	< -10 dB
VSWR	≤ 2
Bandwidth	≥ 3 GHz

Desain Antena

Supaya antenna dapat bekerja sesuai dengan kriteria, maka harus menentukan desain dan spesifikasi antenna. Dimensi yang diperlukan dalam antenna bow-tie *antipodal* ditunjukkan pada Gambar 5:



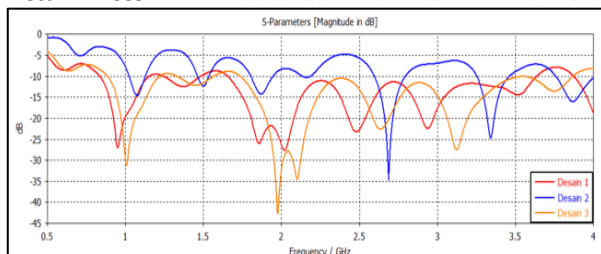
Gambar 5. Desain antena Bow-tie Antipodal

Ada tiga desain yang disimulasikan secara bertahap yaitu antena Desain-A, antena Desain-B, dan antena Desain-C. Ketiga antena tersebut memiliki spesifikasi sama dalam hal berupa bahan substrat FR-4 *lossy* dan konstanta dielektrik 4,3. Untuk melihat ukuran dimensi antena dalam tiga desain dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Ukuran Dimensi Antena

Simbol	Desain 1 (mm)	Desain 2 (mm)	Desain 3 (mm)
A	150	170	150
B	112	119	108
C	110	117	106
D	160	160	160
E	157	147	147
F	2,5	2,5	2,5
G	2	2	2
H	150	170	150
I	112	119	108
J	110	117	106
K	160	150	160
L	157	157	157
M	2,5	2,5	2,5
N	2	2	2
O	3,5	3,5	3,5
P	2	2	2
Q	250	250	250
R	275	275	275

Return Loss

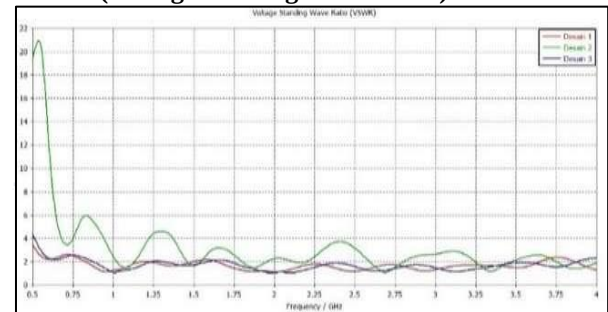


Gambar 6. ReturnLoss Antena Desain 1, Desain2. Dan Desain 3

Nilai return loss minimum yang diperoleh dari hasil simulasi terlihat pada Gambar 6. Desain 1 memiliki nilai *return loss* -27.66458 dB pada frekuensi 2.019

GHz, untuk Desain 2 memiliki nilai *return loss* -34.654909 dB pada frekuensi 2.6875 GHz, dan Desain 3 memiliki nilai *return loss* -42.640006 dB pada frekuensi 1.977 GHz. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dengan mengubah beberapa ukuran seperti pada tabel 3, untuk menghasilkan antena yang sesuai dengan yang diinginkan ternyata desain 3 menjadi opsi terbaik dari desain lainya karena dilihat dari nilai *return loss* minimum yang dihasilkan.

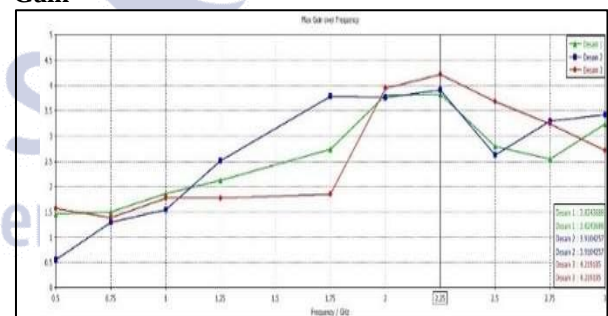
VSWR (Voltage Tanding Wave Ratio)



Gambar 7. Grafik Perbandingan VSWR Desain 1, Desain 2, dan Desain 3

Pada Gambar 7 nilai VSWR yang diperoleh dari hasil simulasi dengan ketentuan nilai VSWR yaitu $1 \leq VSWR \leq 2$. Desain 1 memiliki nilai $1 \leq VSWR \leq 2$ pada frekuensi 1,6 GHz sampai 3,65 GHz, desain 2 memiliki nilai $1 \leq VSWR \leq 2$ pada frekuensi 2,59 GHz sampai 2,80 GHz, dan desain 3 memiliki nilai $1 \leq VSWR \leq 2$ pada frekuensi 1,71 GHz sampai 3,88 GHz. Dari ketiga desain diatas desain 1 dan 3 memiliki nilai VSWR relative sama berbeda dengan desain 2. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa Panjang dari saluran transmisi sangat berpengaruh terhadap nilai VSWR yang dihasilkan.

Gain

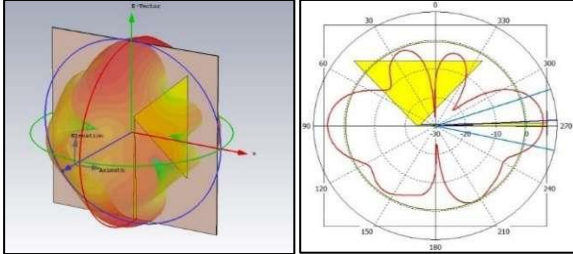


Gambar 8 Perbandingan Gain Desain 1, Desain 2, dan Desain 3

Pada Gambar 8 nilai *gain* maksimum yang dihasilkan pada proses simulasi. Desain 1 mendapat *gain* maksimum sebesar 3,82 dB pada frekuensi 2,25 GHz, desain 2 mendapat *gain* maksimum sebesar 3,91 dB pada frekuensi 2,5 GHz. Desain 3 mendapat *gain* maksimum yang didapat 4,2 dB pada frekuensi 2,25 GHz. Dari ketiga desain tersebut desain 3 memiliki hasil *gain* maksimum yang terbesar sehingga desain ke-3 digunakan sebagai disain yang difabrikasi.

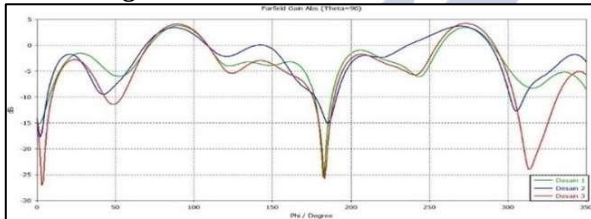
Pola Radiasai

Pada gambar 9 mengacu pada desain ke-3 antenna Pola radiasi pada frekuensi 2,25 GHz memiliki nilai *main lobe* sebesar 5,36 dBi dan *side lobe* -5,8 dB. Antena mempunyai pola radiasi omnidirectional karena pancaran radiasinya menyebar keseluruhan bidang antenna atau 360 derajat.



Gambar 9. Pola radiasi antenna (a) Pola cartesian (b) Pola 3D

Perbandingan Side Lobe Level



Gambar 10 Perbandingan *side lobe level* desain 1, 2, dan 3

Pada Gambar 10 menunjukan perbandingan pola radiasi dari desain 1, desain 2, dan desain 3 yang diambil pada frekuensi 2,25 GHz pada farfield Theta = 90. Desain 1 memiliki *main lobe* sebesar 3,83 dBi dan *side lobe* sebesar -4,8 dB. Desain 2 memiliki *main lobe* sebesar 3,72 dBi dan *side lobe* sebesar -3,6 dB. Desain 3 memiliki *main lobe* sebesar 4,26 dBi dan *side lobe* sebesar -6,0 dB.

Perbandingan Hasil Penelitian Dengan Penelitian Lain

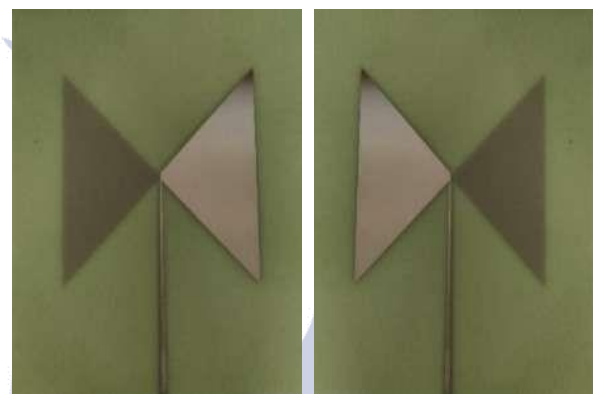
Tabel 3. Perbandingan Hasil Parameter Antena dengan Penelitian Lain

Referensi	Frekuensi Kerja (GHz)	Bandwidth (GHz)	Return Loss (dBi)
(Anzani. D. S., 2021)	1.6-2.24	0.843	-11.13
(Roslee, M., dkk. 2011)	1-2.7	1.7	-22.34
(Sanofar. M M., dkk. 2019)	0.8-1.24	0.440	-16.7
(Nur. L. O, dkk. 2019)	2.2-2.68	0.48	-28.48
(Hasil Penelitian)	1.73-3.86	2.13	- 42.64

Perbandingan hasil parameter antenna dengan penelitian lain ditampilkan pada Tabel 3. Hasil perbandingan meliputi frekuensi kerja yang digunakan, *bandwidth*, dan *return loss*. Desain antenna 3 memiliki lebar *bandwidth* maupun *return loss* yang terbesar diantara semua antenna referensi, sehingga dapat disimpulkan desain antenna desain 3 dapat diaplikasikan untuk aplikasi *Ground Penetrating Radar* (GPR).

Fabrikasi Antena

Setelah melakukan desain proses selanjutnya melakukan fabrikasi melalui pihak ketiga. Antena yang telah difabrikasi pada papan PCB dan dipasang konektor dengan hasil dapat dilihat pada Gambar 11.



(a)

(b)

Gambar 11. Hasil Fabrikasi Antena (a) Depan (b) Belakang

Pengaplikasian Antena Untuk Sistem GPR



Gamabr 12. Proses Pengambilan Data

Prototipe dibuat seperti Gambar 12 untuk tempat antenna saat pengambilan data, dimana prototipe berbentuk H-plane yaitu saat dua batang penyangga yang tersusun membentuk huruf H dengan dua antenna tersusun menghadap *vertikal*. Antena tersebut berfungsi sebagai *transmitter* dan *receiver* yang tersambung dengan VNA menggunakan kabel koaksial, dan VNA tersambung dengan laptop/display dengan kabel mikro USB.

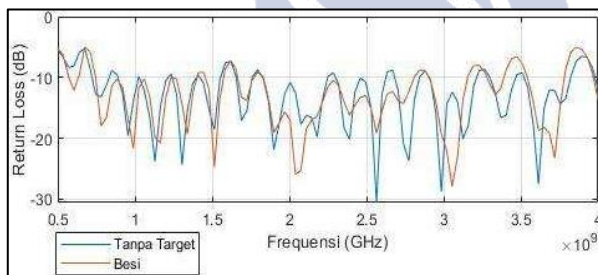


Gambar 13. Objek Deteksi

Pengambilan data dilakukan dengan mengubur target berupa besi, batu, kayu, dan plastik pada Gambar 13 dengan kedalaman 4 cm dan 8 cm dibawah permukaan tanah. Proses pendeteksian dilakukan dengan mengambil 10 sampel dengan posisi antena GPR terletak 10 cm diatas permukaan tanah.

Hasil parameter Scatering dalam bentuk Grafik

Grafik parameter *scattering* yang diambil dari percobaan pengambilan data objek dengan tanpa objek memperoleh data *return loss* yang kemudian diolah datanya menggunakan *software* Matlab untuk menampilkannya dalam satu *figure*. Gambar 14 akan menunjukan hasil perbandingan *scattering* dari beberapa objek.

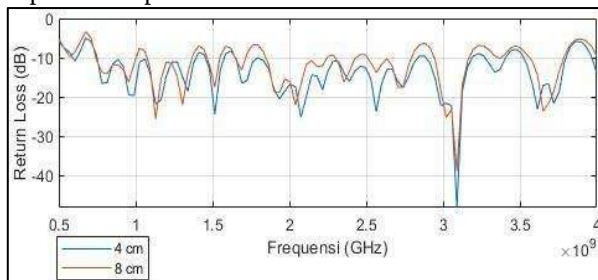


(a)

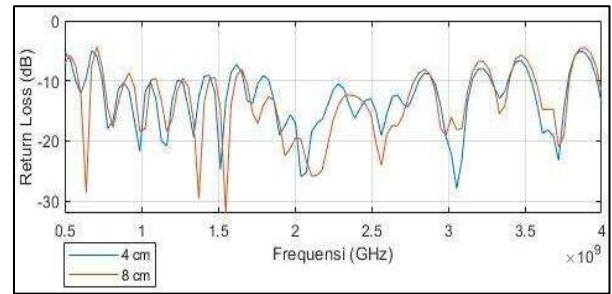
Gambar 14. Hasil Run Pseudocode Parameter Scattering Perbandingan Objek dan Tanpa Objek

Pada Gambar 14 hasil *scattering* perbandingan objek dan tanpa objek, dengan menggunakan objek berupa besi dapat dilihat bahwa grafik hampir mirip akan tetapi pada Sebagian frekuensi *return loss* pada objek besi berbeda dengan pendeteksian tanpa objek seperti pada saat frekuensi 2 GHz sampai 3 GHz.

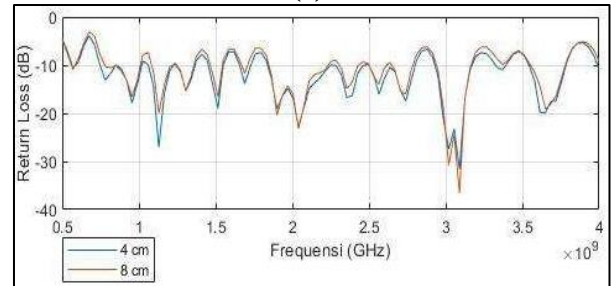
Pada percobaan berikutnya dilakukan dengan parameter yang diuji berupa kedalaman objek yang dikubur yaitu 4 cm dan 8 cm. hasil dari percobaan ke-2 dapat dilihat pada Gambar 15.



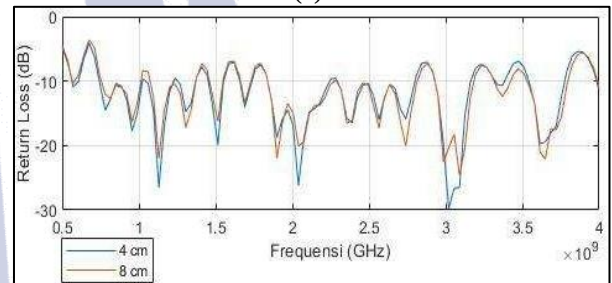
(a)



(b)



(c)



(d)

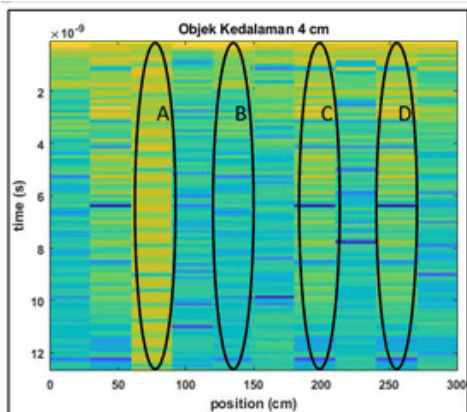
Gambar 15 Hasil Perbandingan Parameter Scatering Objek Terkubur (a)Besi, (b) Batu, (c) Kayu, dan (d) Plastik.

Dari gambar 15 dapat dilihat hasil yang diperoleh dari percobaan menunjukan nilai *return loss* minimum yang diperoleh pada percobaan 1 dan 2. Pada percobaan 1 besi memiliki *return loss* minimum sebesar 48,54 dB pada frekuensi 3,1 GHz, batu memiliki *return loss* minimum sebesar 28,6 dB pada frekuensi 30.3 GHz, kayu memiliki *return loss* minimum sebesar 31,8 db pada frekuensi 3.2 GHz, dan plastik memiliki *return loss* minimum sebesar 30 dB pada frekuensi 3 GHz. Sedangkan pada percobaan yang dilakukan dengan mengubur objek pada kedalaman 8 cm menghasilkan *return loss* minimum pada besi sebesar 38 dB pada frekuensi 3,1 GHz, batu memiliki *return loss* minimum sebesar 32,4 dB pada frekuensi 1,6 GHz, kayu memiliki *return loss* minimum sebesar 36,4 dB pada frekuensi 3,2 GHz, dan plastik memiliki *return loss* minimum sebesar 24,5 dB pada frekuensi 3,2 GHz.

Hasil Pengolahan Data Scatering Dengan Metode B-Scan.

Setelah diperoleh data *scattering* dari percobaan 1 dan percobaan 2 selanjutnya akan diolah menggunakan program B-Scan pada Matlab untuk menunjukan hasil blok saturasi warna yang menunjukan keadaan suatu objek yang dideteksi.

Pengolahan data 1



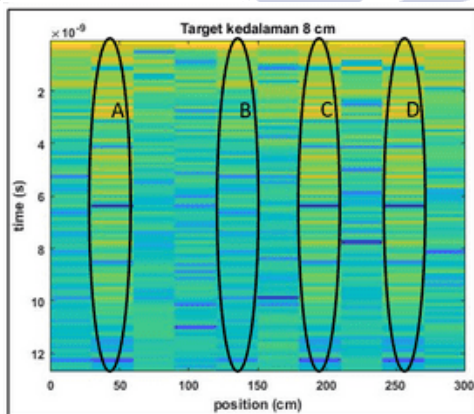
Gambar 16. Pengolahan B-Scan kedalaman objek 4 cm

Seperti yang terlihat pada gambar 16 pendeteksian beberapa objek dengan inisial A = Besi, B = Batu, C = Kayu, dan D = Plastik. Objek besi paling terlihat diantara objek yang lain dan ada beberapa data tanpa target yang langsung diteruskan kemabali.

Pada kedalaman ini target berupa besi dapat terdeteksi secara jelas dengan ditunjukannya warna kuning yang pekat pada Gambar 16, sedangkan objek batu, kayu, dan plastik memiliki keadaan yang sama dengan pendeteksian tanpa target atau bisa dikatakan bahwa objek tersebut kurang atau tidak dapat di deteksi secara maksimal oleh perangkat GPR yang digunakan.

Sedangkan terdapat bagian tanpa target yang terlihat seperti mendeteksi target dilihat dari warna kuning itu disebabkan karena pasir yang digunakan merupakan jenis *zeolit* atau pasir yang kasar oleh sebab itu sinyal yang dikirim oleh antenna terpantul langsung seperti keadaan sedang mendeteksi objek.

Pengolahan data 2



Gambar 17. Pengolahan B-Scan kedalaman objek 8 cm

Untuk pengolahan data dengan objek yang terkubur sedalam 8 cm dibawah permukaan tanah seperti yang terlihat dalam Gambar 17 menunjukkan bahwa objek tidak dapat terdeteksi oleh antenna. Pada percobaan kedua yang dilakukan dengan mengubur objek sedalam 8 cm, dilihat pada Gambar 17 keadaan objek mempunyai saturasi warna yang sama dengan keadaan pendeteksian tanpa objek. Hal itu dapat disimpulkan

bahwa pada percobaan ini antenna kurang atau tidak dapat mendeteksi objek dalam kedalaman tersebut, atau juga bisa disebabkan oleh faktor pasir yang digunakan merupakan jenis *zeolit* atau pasir yang kasar oleh sebab itu sinyal yang dikirim oleh antenna terpantul langsung seperti keadaan sedang mendeteksi objek ditunjukan dengan saturasi warna kuning yang nampak hanya pada permukaan.

PENUTUP

Simpulan

Dari hasil simulasi dan pengukuran yang dilakukan antenna, simulasi menghasilkan *return loss* – 42.64 dB pada frekuensi 1.977 GHz sedangkan pada pengukuran menghasilkan nilai *return loss* – 31.22 dB pada frekuensi 2.635 GHz. Dari hasil pengolahan data matlab dapat disimpulkan bahwa besi, dibandingkan dengan target lain seperti kayu, batu, dan plastik, lebih mudah dideteksi oleh antenna GPR. Hal tersebut dikarenakan besi mengandung unsur *diamagnetic* yang besar diantara bahan lainnya. Akibatnya besi memiliki kapasitas yang lebih besar untuk melakukan efek *scattering* pada gelombang sinyal yang dipancarkan oleh antenna GPR, yang menghasilkan energi magnetik dan listrik. Kekurangan dari penelitian ini adalah kurangnya parameter objek yang harus diukur seperti dimensional benda dan perbedaan jenis pasir.

Saran

Penelitian ini memberikan rekomendasi yang dapat digunakan sebagai acuan atau referensi untuk penelitian GPR yang akan datang. Untuk penelitian selanjutnya, slot dapat ditambahkan pada *patch* antenna dan groundplane. Ini akan meningkatkan bandwidth yang dihasilkan. Saat digunakan pada sistem GPR, teknologi array pada antenna memiliki kelebihan jumlah pada *transmitter* dan penerima antenna, sehingga memungkinkan pendeteksian yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini, Rizqi, dan Nurhayati. 2021. *Improvement Of Coplanar Vivaldi Antenna Radiation Patterns With Fractal Structure For Ultra-Wideband Applications*. Jurnal Teknik Elektro dan Elektronika Indonesia. Vol. 4. No. 2. Hal. 44–50
- Alindra. R., Wijianto. H., dan Usman. K. 2017. *Deteksi Bentuk Objek Bawah Tanah Menggunakan Pengolahan Citra B-Scan Pada Ground Penetrating Radar (GPR)*. TELKA. Vol. 3. No. 1.
- Anzani, D. S. 2021. *Perancangan dan Realisasi Antena Bow-tie Antipodal 1,6 GHz Untuk Aplikasi Ground Penetrating Radar (GPR)*. Jurnal Teknika. Vol 13. No. 2.
- Arcone, S.A. 1984. *Dielectric Costant And Layer Thickness Interpretation Of Helicopter – Borne Short Pulse Radar Waveforms Reflected From Wet And Dry River – Ice*. Journal IEEE Trans. Geoscience And Remote Sensing.

- Chakabarti. N., Kalra. S., Saxena. S., dan Tripathy. M. R. 2016. *Untra-Wideband Antenna For A Ground Penetrating Radar*. Thiteenth Internasional Conferencw on Wireless and Optical Communication Network (WOCN) 1-6.
- FCC (Federal Commission Communications). 2002. *First Report and Order in The Matter of Revision of Part 15 of the Commision's Rules Regarding Ultrawideband Transmission System*. FCC 02-48, Washington, DC.
- Congedo. F., Monti. G., Tarricone. L. 2009. *Modified Bowtie Antenna for GPR Applications*. Journal IEEE Proceedings of the XIII International Conference on Ground Penetrating Radar. Vol. 9.
- Dean. R, E. 2011. *Analisis Perbandingan Teknik Penyesuaian Impedansi pada Saluran Mikrostrip Antara Metode Single Stub dan Doble Stube*. Tugas Akhir Universitas Sumatra Utara.
- Knödel, K., Lange, G., & Voigt, H.-J. (Eds.). 2007. *Environmental Geology, Handbook of Field Methods and Case Studies*. Springer. ISBN 978-3-540-74669-0. Berlin.
- L. Liu, C. Zhang, Y. Liu, and Y. Hua. 2018. *A high gain and directivity bowtie antenna based on singlenegative metamaterial*. Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnrtics Appllications, Vol. 17, No.2.
- Malvin. W. L, Sheer. J. A. 2010. *Priciples Of Modern Radar*. SciTech. Vol 2.
- Mehta. Anuj. 2015. *Microstrip Antenna*. Jurnal Penelitian Ilmiah & Teknologi Internasional. Vol. 4. Hal. 54–57.
- Odzamir. C., Demirci. S., Yigit. E., dan Yilmaz. B. 2014. *A Review on Migration Methots Radar Imaging Mathematical Problems In Engeniring*. Hindawi. Vol. 14. Hal. 1-16
- Rambe. A. H. 2012. *Antena Microstrip: Konsep dan Aplikasinya*. JiTEKH. I, Vol. 01, 86-92.
- Setiawan. M. I., Endri. J. 2019. *Rancang Bangun Antena Mikrostrip Path Rectangular Pada Frekuensi 900 MHz Untuk Aplikasi GSM*. JTiRespati. Vol 14. No. 2.