

PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA BOWTIE ANTIPODAL 1,6 GHZ UNTUK *GROUND PENETRATING RADAR* (GPR)

Dewi Septia Anzani¹, Heroe Wijanto², Dharu Arseno³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
Jl. Telekomunikasi Terusan Buah Batu 40257, Bandung, Indonesia
(022) 7566456

E-mail: ¹dewisanzani@student.telkomuniversity.ac.id, heroe@telkomuniversity.ac.id,
darseno@telkomuniversity.ac.id

ABSTRACT

Ground Penetrating Radar (GPR) is a technology that uses radio waves to detect the location, depth, and shape of objects buried beneath the earth's surface. One of the important components in the GPR system is the antenna, which consists of a transmitter and receiver antenna. GPR works on various frequency bands, one of which is at 1.6 GHz. To be able to detect objects, the required antenna must have a wide bandwidth specification, unidirectional radiation pattern and low ringing level. The design uses an antipodal bowtie antenna with the addition of edge cutting and matching impedance methods as a transmitting antenna that works at a frequency of 1.6 GHz. The design results of the bandwidth is 540 MHz in the range 1.32 GHz – 1.86 GHz, return loss -16.38 dB, VSWR 1.35, gain 2.025 dBi, and radiation pattern. bidirectional.

Kata Kunci: Antipodal, Bowtie Antenna, Edge Cutting, Ground Penetrating Radar (Gpr), Matching Impedance.

ABSTRAK

Ground Penetrating Radar (GPR) adalah teknologi yang menggunakan gelombang radio untuk mendeteksi lokasi, kedalaman, dan bentuk objek yang terkubur di bawah permukaan bumi. Salah satu komponen penting dalam sistem GPR adalah antena, yang terdiri dari antena pemancar dan penerima. GPR bekerja pada berbagai pita frekuensi, salah satunya pada 1,6 GHz. Untuk dapat mendeteksi objek, antena yang dibutuhkan harus memiliki spesifikasi bandwidth yang lebar, pola radiasi searah dan tingkat dering yang rendah. Perancangan menggunakan antena antipodal bowtie dengan penambahan metode edge cutting dan matching impedansi sebagai antena pemancar yang bekerja pada frekuensi 1,6 GHz. Hasil perancangan bandwidth 540 MHz pada range 1,32 GHz – 1,86 GHz, return loss -16,38 dB, VSWR 1,35, gain 2.025 dBi, dan pola radiasi. dua arah.

Kata Kunci : Antipodal, Antena Bowtie, Edge Cutting, Ground Penetrating Radar (Gpr), Matching Impedance.

1. PENDAHULUAN

Radio detection and ranging (Radar) merupakan salah satu kemajuan teknologi yang sudah banyak diterapkan secara luas dalam pekerjaan teknik. Radar merupakan salah satu metode yang efektif untuk mendeteksi posisi suatu objek, bekerja dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi suatu objek. Salah satu implementasi dari sistem radar adalah *Ground Penetrating Radar* (GPR). GPR merupakan suatu sistem yang dapat memudahkan pekerjaan dalam mendeteksi objek yang terkubur di bawah permukaan tanah, terowongan tersembunyi, pipa, kabel, dan ranjau darat (Karim et al., 2013). Sistem GPR bekerja dengan memancarkan gelombang elektromagnetik melalui antena serta menembusnya ke permukaan tanah, kemudian gelombang yang dipancarkan dan dipantulkan dari objek akan ditangkap oleh sistem GPR, sehingga dapat diketahui lokasi dan jenis material dari objek tersebut (Daniel, 1996).

Teknologi GPR banyak digunakan pada bidang-bidang tertentu seperti bidang geofisika, teknik sipil,

polisi, militer, program luar angkasa, dan arkeologi (Harry, 2009). Penggunaan frekuensi pada sistem GPR dapat menentukan kelas target yang dapat dideteksi, bergantung pada resolusi dan kedalaman penetrasi. Pita frekuensi yang lebih rendah atau lebih tinggi diperlukan pada sistem GPR, seperti frekuensi (0,01 – 2 GHz) dalam bidang arkeologi dan arsitektur, frekuensi (0,5 – 3 GHz) dalam bidang militer, dan frekuensi (1 – 10 GHz) dalam bidang medis (Congedo dan Tarricone, 2010).

Salah satu komponen penting pada sistem GPR adalah antena, yang terdiri dari antena pemancar dan antena penerima. Antena yang diperlukan untuk sistem GPR harus memiliki *bandwidth* fraksional yang besar, pola radiasi *unidirectional*, dan *ringing level* yang rendah (Harry, 2009). Umumnya antena yang digunakan pada sistem GPR adalah antena Vivaldi, antena TEM Horn dan antena Bowtie. Dibandingkan dengan antena *Ultrawide-band* (UWB) lainnya, antena bowtie mempunyai kelebihan yaitu lebih kecil dan lebih *compact*. Menurut *Federal Communication Commisn* (FCC) (2002), *bandwidth* yang dibutuhkan pada antena

UWB harus lebih besar dari 20% frekuensi tengahnya. Selain membutuhkan *bandwidth* yang lebar, antenna pada sistem GPR juga memperhatikan nilai dari *ringing level*. *Ringling level* merupakan gelombang refleksi internal yang dapat menyebabkan efek masking yang mempengaruhi tingkat resolusi dan akurasi pendeteksian (Oktaviani, 2007). Karena berbagai permasalahan ketebalan tanah yang beragam dan gejala *late-time ringing* yang disebabkan oleh radiasi antenna yang tidak maksimal, sistem GPR memerlukan resolusi yang tinggi. Nilai resolusi GPR dapat ditentukan oleh antenna dan frekuensi yang digunakan. Frekuensi tinggi dapat memberikan resolusi yang lebih baik. Sistem GPR dengan frekuensi 1,6 GHz yang memiliki rentang kedalaman 50 cm dapat mendeteksi target logam dan non-logam di dinding (R. V De Jongh, 1998). Penelitian ini dirancang suatu antenna bowtie antipodal dengan pemberian metode *edge cutting* dan *matching impedance* yang bekerja pada frekuensi 1,6 GHz untuk sistem GPR.

Penelitian ini berfokus pada proses pembuatan antenna yang dapat bekerja pada sistem GPR. Antenna pemancar pada sistem GPR memiliki karakteristik seperti *bandwidth* fraksional yang besar, dan *ringing level* yang rendah. Pada penelitian ini dirancang antenna bowtie antipodal dengan penambahan *edge cutting* dan *matching impedance* yang bekerja pada frekuensi 1,6 GHz untuk aplikasi GPR. Pada penelitian ini dianalisis perbandingan hasil karakteristik antenna dari hasil simulasi dengan pengukuran antenna yang direalisasikan.

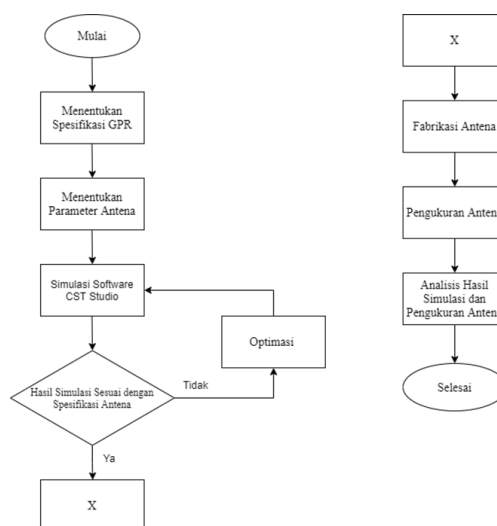
Tujuan pada penelitian terbagi menjadi beberapa bagian.

- Merancang dan merealisasikan antenna bowtie antipodal pada frekuensi 1,6 GHz yang dapat bekerja pada sistem GPR
- Membandingkan hasil simulasi dan pengujian antenna sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan

2. METODE

2.1 Diagram Alir Perancangan

Metode yang digunakan pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan seperti melakukan studi literatur untuk memahami konsep dan teori yang digunakan. Selanjutnya tahapan dalam perancangan antenna, dimulai dengan menentukan spesifikasi antenna, menghitung ukuran dimensi antenna menggunakan persamaan matematis, simulasi antenna menggunakan *software*, Penggunaan *software* tersebut untuk mempermudah perancangan, pengukuran, dan mendapatkan ukuran ideal pada jenis antenna tersebut. Dilakukan optimasi hingga mendapatkan hasil yang sesuai spesifikasi yang diinginkan. Dan tahap terakhir yaitu melakukan fabrikasi dan pengujian antenna. Dan analisis hasil dari simulasi dan pengukuran antenna.



Gambar 1. Diagram alir perancangan

2.2 Spesifikasi Antena

Spesifikasi yang dibutuhkan pada perancangan antenna tertera pada Tabel 1. Antenna bowtie merupakan jenis antenna *ultra-wideband* atau antenna yang memiliki *bandwidth* yang lebar. Frekuensi yang digunakan berpengaruh terhadap panjang gelombang yang dapat menentukan kedalaman dari penetrasi sistem GPR. Frekuensi 1,6 GHz digunakan untuk dapat mendeteksi logam seperti emas dan aluminium yang terkubur di bawah permukaan tanah dengan rentang kedalaman 50 cm (Karamzadeh, 2016). *Bandwidth* yang lebar dibutuhkan pada sistem GPR, spesifikasi menunjukkan nilai *bandwidth* lebih besar dari 500 MHz untuk mendapatkan resolusi yang baik. Nilai *gain* lebih dari 2 dBi sudah cukup untuk menjangkau kedalaman pada frekuensi 1,6 GHz, semakin besar nilai *gain* yang dihasilkan maka pancaran antenna akan semakin besar. Parameter *ringing level* ditetapkan -30 dB merujuk pada penelitian (Karamzadeh, 2016) untuk dapat mengurangi adanya efek masking. Bahan dielektrik yang digunakan pada substrat yaitu FR4 Epoxy. Pemilihan substrat FR4 Epoxy karena bahan tersebut memiliki nilai konstanta dielektrik yang dapat mempengaruhi lebar *bandwidth* dan efisiensi antenna.

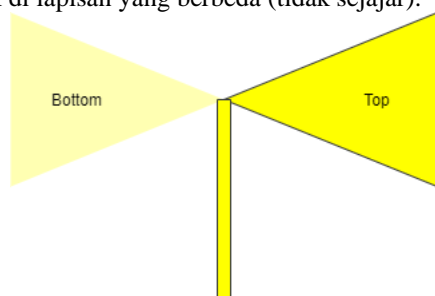
Tabel 1. Spesifikasi antenna

No	Parameter	Nilai
1	Jenis Antena	Antena Bowtie
2	Frekuensi	1,6 GHz
3	<i>Bandwidth</i>	≥ 500 MHz
4	<i>Returnloss</i>	≤ 10 dB
5	<i>Gain</i>	≥ 2 dBi
6	Pola Radiasi	<i>Unidirectional</i>
7	<i>Ringling Level</i>	≤ -30 dB

2.3 Antena Bowtie Antipodal

Antena mikrostrip memiliki berbagai macam bentuk *patch*, salah satunya berbentuk bowtie. Sistem GPR membutuhkan antena dengan *bandwidth* lebar dan *beam* yang sempit. Antena bowtie merupakan implementasi dari antena mikrostrip yang banyak digunakan pada GPR karena ukurannya yang lebih kecil dan *compact* dibandingkan dengan antena Vivaldi dan TEM Horn (R. V De Jongh, 1998). Antena bowtie adalah jenis antena dipole biconical atau bentuk planar dari antena biconical.

Struktur antena terbagi menjadi dua bagian yaitu coplanar dan antipodal. Kedua bidang radiasi berada di sisi yang sama dari bidang dielektrik (Saputra, 2018). Keterbatasan struktur coplanar terletak pada teknik pencatutan yang digunakan yaitu *microstrip-to-slotline* yang memiliki rugi-rugi radiasi tinggi sehingga dibutuhkan stub (Liu, 2010). Oleh karena itu, dipilih struktur antipodal yang lebih mudah digunakan pada teknik pencatutan *microstrip line*. Selain dapat dengan mudah digunakan pada pencatutan *microstrip line*, struktur antipodal juga dapat mencapai nilai *bandwidth* yang lebih lebar dibandingkan dengan struktur coplanar (Liu, 2010). Struktur antipodal adalah konfigurasi dua lengan *patch* bowtie yang berlawanan satu sama lain dan terletak di lapisan yang berbeda (tidak sejajar).



Gambar 2. Antena bowtie antipodal

Antena bowtie terdiri atas *patch*, substrat, dan *groundplane*. Adapun untuk menentukan panjang sisi *patch* antena bowtie (α) digunakan persamaan (1) sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{2c}{2f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

Untuk mencari nilai panjang *patch* (L_p) dan lebar *patch* (W_p) dapat menggunakan persamaan (3) dan (4) dengan mencari nilai panjang dielektrik (α_{eff}) terlebih dahulu

$$\alpha_{eff} = \alpha + \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

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

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

Selanjutnya, untuk menentukan nilai panjang substrat (L_s) dan lebar substrat (W_s) dapat menggunakan persamaan :

$$W_s \geq 6h + W_p \quad (5)$$

$$L_s \geq \frac{1}{2}L_p + 3h + L_f \quad (6)$$

2.4 Edge Cutting

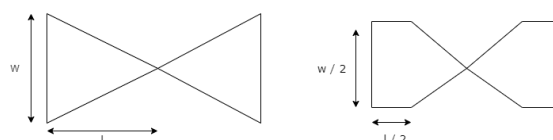
Edge Cutting atau pemotongan paralel pada tepi antena digunakan untuk meminimalkan dimensi geometri pada antena. Secara teoritis, pemotongan tepi pada antena akan menyebabkan refleksi arus pada tepi dan juga akan mengubah karakteristik impedansi konstan dari antena (Liu, 2010). Pemotongan tepi pada antena dapat memperlebar nilai *bandwidth* dan menggeser frekuensi pusat (Liu, 2010).

Nilai w dapat dihitung menggunakan persamaan (5), sedangkan untuk menghitung nilai l menggunakan rumus pada persamaan sebagai berikut :

$$l = \frac{1}{2} \lambda_0 \times \frac{1}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (7)$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (8)$$

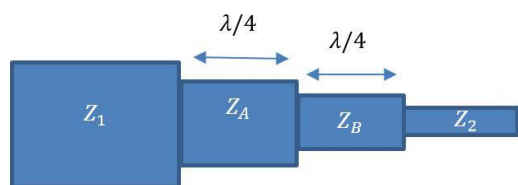
$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{4 \sqrt{1 + \frac{12h}{a}}} \quad (9)$$



Gambar 3. Antena bowtie (a) tanpa *edge cutting* (b) dengan *edge cutting*

2.5 Matching Impedance Transformator $\lambda/4$

Penggunaan *matching impedance* merupakan salah satu langkah untuk mencapai parameter kinerja antena yang optimal seperti *returnloss*, efisiensi, dan *gain* (Azizah et al., 2014). *Matching impedance* dilakukan untuk menyeimbangkan dua perbedaan impedansi antara sumber dan beban, sehingga dapat meminimalkan gelombang pantulan yang akan merusak sistem (Azizah et al., 2014). Saluran transmisi pada antena bisa dikatakan *match* ataupun cocok apabila tidak terdapat gelombang yang kembali (terpantul) antara wilayah saluran beban atau dapat dikatakan $Z_o = Z_l$ dengan Z_o adalah impedansi karakteristik = 50Ω dan Z_l adalah impedansi beban. Salah satu teknik *matching impedance* yang cocok digunakan pada pita lebar yaitu *multi-section quarter wave transformer*.



Gambar 4. Two-section quarter wave transformer

Dengan nilai Z_1 ialah impedansi input dan Z_2 ialah impedansi beban antenna. Maka untuk menghitung nilai dari karakteristik impedansi dari transformator $\lambda/4$ two-section adalah sebagai berikut :

$$Z_A = Z_1 \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (10)$$

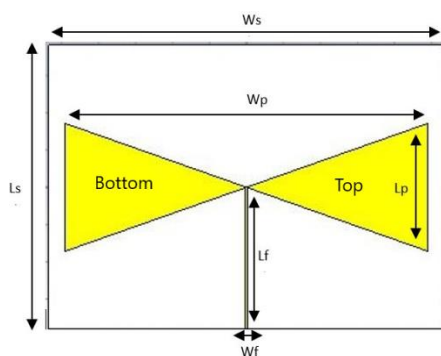
$$Z_B = Z_1 \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^{\frac{3}{4}} \quad (11)$$

3. PEMBAHASAN

Prose perancangan antenna disusun dengan beberapa tambahan metode, seperti *edge cutting* dan *matching impedance* transformator $\lambda/4$.

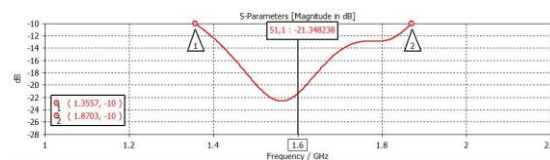
3.1 Perancangan Antena Bowtie Antipodal

Pada antenna bowtie ini, perubahan dilakukan dengan menambahkan struktur antipodal seperti pada Gambar 5. Teknik ini bertujuan untuk melebarkan nilai *bandwidth* sehingga dapat memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan.

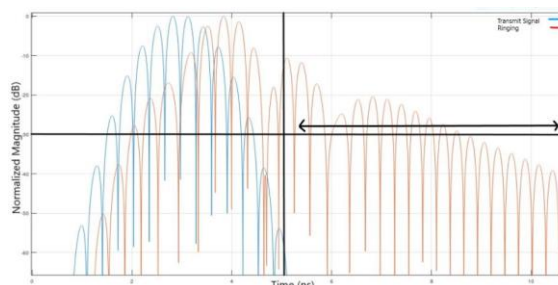


Gambar 5. Antena bowtie antipodal

Berdasarkan hasil optimasi antenna dengan struktur antipodal, *bandwidth* yang dihasilkan sebesar 514,6 MHz (1,3557 GHz – 1,8703 GHz) dengan nilai *returnloss* -21,34 pada frekuensi 1,6 GHz yang terlihat seperti pada Gambar 6. Spesifikasi *bandwidth* yang dihasilkan sudah memenuhi spesifikasi yang diharapkan. Tetapi nilai *ringing level* pada *pulse duration* 5 ns masih diatas -30 dB seperti pada Gambar 7, maka dilakukan optimasi dan menambahkan metode sehingga dapat memenuhi spesifikasi.



Gambar 6. Returnloss hasil simulasi



Gambar 7. Ringing level hasil simulasi

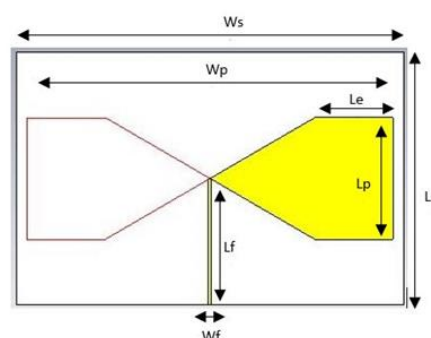
Berdasarkan hasil optimasi antenna dengan struktur antipodal, didapatkan nilai ukuran dimensi antenna seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai dimensi antenna

Dimensi Antena	Parameter	Nilai (mm)
Bowtie		
Panjang patch	L_p	117,5
Lebar patch	W_p	224
Panjang substrat	L_s	161
Lebar substrat	W_s	243
Lebar catuan	W_f	2,1
Panjang saluran transmisi	L_f	81

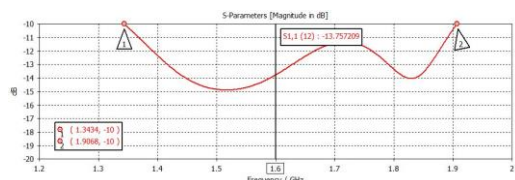
3.2 Perancangan dengan Edge Cutting

Berdasarkan hasil simulasi yang diperoleh dengan menggunakan struktur antipodal, nilai *bandwidth* sudah memenuhi spesifikasi yang ditentukan tetapi nilai *ringing level* yang diperoleh masih belum mencukupi. Desain antenna dengan penambahan metode *edge cutting* ini dirujuk dari jurnal (Saputra, 2018) untuk melebarkan nilai *bandwidth* dan diharapkan dapat menurunkan nilai dari *ringing level*.

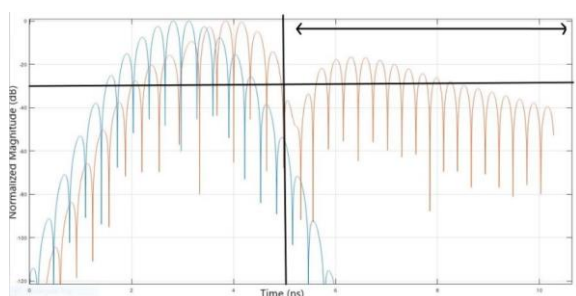


Gambar 8. Antena dengan edge cutting

Hasil optimasi antenna bowtie antipodal dengan penambahan metode *edge cutting* menghasilkan nilai *bandwidth* sebesar 563,4 MHz pada rentang frekuensi 1,3434 GHz – 1,9068 GHz, nilai *returnloss* sebesar -13,75 dB pada frekuensi 1,6 GHz. Nilai *bandwidth* yang dihasilkan meningkat sebesar 48,8 MHz. Nilai *ringing level* yang dihasilkan sebesar -19,57 dB pada *pulse duration* 5 ns dan masih belum mencapai spesifikasi yang diharapkan. Oleh karena itu, dilakukan penambahan metode untuk menurunkan nilai *ringing level* hingga dapat memenuhi spesifikasi.



Gambar 9. Returnloss hasil simulasi



Gambar 10. Ringing level hasil simulasi

Berdasarkan hasil optimasi antenna dengan *edge cutting*, didapatkan nilai ukuran dimensi antenna seperti pada Tabel 3.

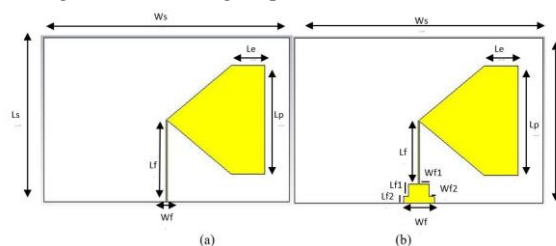
Tabel 3. Nilai dimensi antenna

Dimensi Antena Bowtie	Parameter	Nilai (mm)
Panjang patch	L_p	81,25
Lebar patch	W_p	230
Panjang substrat	L_s	165
Lebar substrat	W_s	250
Lebar catuan	W_f	2,1
Panjang saluran transmisi	L_f	80,5
Panjang <i>edge cutting</i>	L_e	48,26

3.3 Hasil Akhir Perancangan Antena

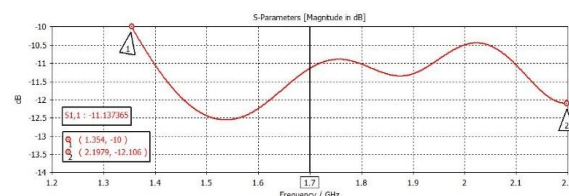
Hasil perancangan antenna bowtie terlihat pada Gambar 11. Antena dirancang menggunakan beberapa metode seperti struktur antipodal, *edge*

cutting, dan *matching impedance* transformator $\lambda/4$.



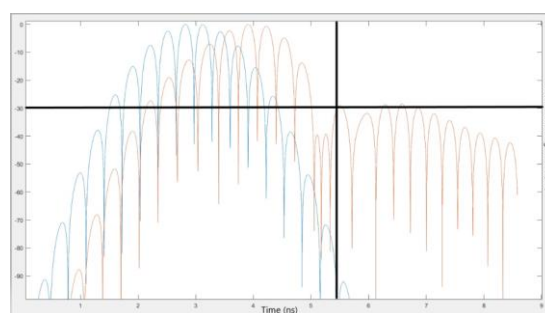
Gambar 11. Antena bowtie (a) sisi depan (b) sisi belakang

Hasil simulasi yang diperoleh dari penggunaan beberapa metode dapat dilihat pada Gambar 12. Hasil dari parameter *returnloss* didapatkan sebesar -11,137 dB dengan nilai *bandwidth* yang dihasilkan yaitu 843,9 MHz pada rentang frekuensi (2,1979 GHz-1,354 GHz).



Gambar 12. Returnloss hasil simulasi

Terdapat perubahan nilai *ringing level* yang mengalami penurunan menjadi -31,07 dB pada *pulse duration* 5,5 ns seperti pada Gambar 13. Dapat disimpulkan bahwa parameter *ringing level* sudah mencukupi spesifikasi yang diharapkan.



Gambar 13. Ringing level hasil simulasi

Berdasarkan hasil optimasi antenna, didapatkan nilai ukuran dimensi antenna seperti pada Tabel 4.

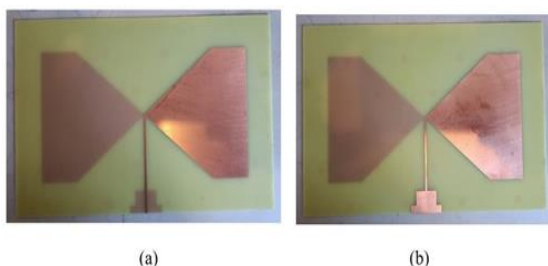
Tabel 4. Nilai dimensi antenna

Dimensi Antena Bowtie	Parameter	Nilai (mm)
Panjang patch	L_p	114,25
Lebar patch	W_p	232
Panjang substrat	L_s	172
Lebar substrat	W_s	290
Lebar catuan	W_f	2
Panjang catuan	L_f	81

Dimensi Antena Bowtie	Parameter	Nilai (mm)
Lebar catuan 1	W_{f1}	7
Lebar catuan 2	W_{f2}	12,75
Panjang catuan 1	L_{f1}	36
Panjang catuan 2	L_{f2}	24
Panjang <i>edge cutting</i>	L_e	39,39

3.4 Fabrikasi Antena

Antena di fabrikasi pada papan PCB dan dipasangkan konektor untuk catuan daya terhadap antena Hasil realisasi antena dapat dilihat pada Gambar 14.

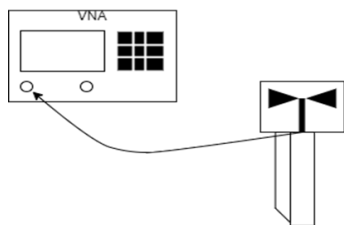


Gambar 14. Antena bowtie (a) sisi depan (b) sisi belakang

3.5 Hasil Pengujian Antena

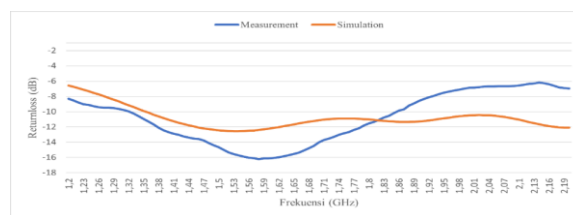
Pengujian dilakukan untuk membandingkan hasil pada simulasi berbanding lurus dengan hasil realisasi antena. Parameter yang dilakukan pengukuran yaitu *returnloss*, *bandwidth*, pola radiasi, dan *gain* antena.

1. Pengujian nilai *returnloss* dan *bandwidth* antena



Gambar 15. Konfigurasi pengujian *returnloss* dan *bandwidth* antena

Hasil yang didapatkan dari nilai *returnloss* yaitu sebesar -16,38 dB seperti yang terlihat pada Gambar 16. Nilai *returnloss* mengalami penurunan dari -11,137 dB menjadi -16,38 dB.



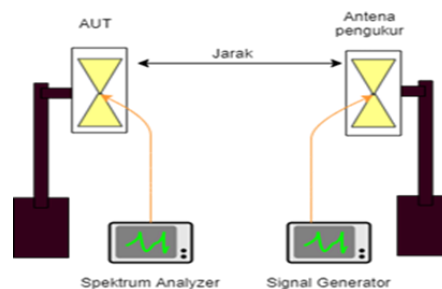
Gambar 16. *Returnloss* hasil pengujian

Nilai *bandwidth* yang dihasilkan dari grafik *returnloss* mengalami penyempitan dibandingkan dengan hasil simulasi. Penyempitan nilai *bandwidth* tersebut disebabkan oleh nilai *returnloss* yang menurun. Nilai *bandwidth* yang diperoleh sebesar 540 MHz atau sebesar 33,75% dari *bandwidth* fraksionalnya.

Tabel 5. Perbandingan nilai *bandwidth*

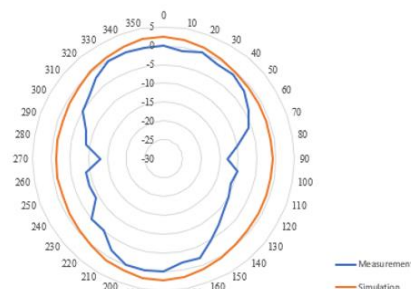
Hasil	<i>Returnloss</i> (dB)	<i>Bandwidth</i> (MHz)	Spesifikasi
Simulasi	-11,137	843,9	Terpenuhi
Pengukuran	-16,38	540	Terpenuhi

2. Pengujian nilai pola radiasi dan gain antena

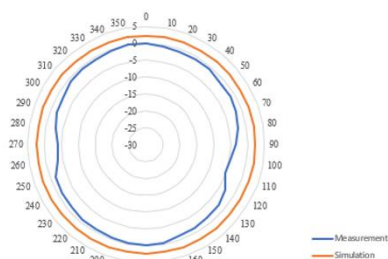


Gambar 16. Konfigurasi pengujian pola radiasi dan gain antena

Hasil simulasi dan pengukuran pada arah azimuth seperti pada Gambar 17, menunjukkan bahwa daya maksimum terdapat pada sudut 0° dan 180°.



Gambar 17. Pola radiasi arah azimuth



Gambar 18. Pola radiasi arah elevasi

Pada hasil simulasi pada arah elevasi seperti pada Gambar 18, didapatkan daya yang hampir sama di segala arah dari sudut 0° hingga sudut 350° dan pengukuran menunjukkan bahwa daya maksimum terdapat pada sudut 0° dan 180° .

Hasil pengukuran nilai gain antenna sebesar 2,025 dBi pada frekuensi 1,6 GHz. Hasil tersebut memiliki penurunan sebesar 0,245 dBi dibandingkan dengan hasil simulasi.

Tabel 6. Perbandingan nilai gain antenna

Simulasi	Pengukuran
2,3 dBi	2,025 dBi

3.6 Perbandingan hasil parameter antenna

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan pengukuran antenna. Nilai-nilai yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 7 berikut :

Tabel 7. Perbandingan nilai parameter antenna

Parameter	Simulasi	Pengukuran
<i>Returnloss</i>	-11,757 dB	-16,38 dB
VSWR	1,767	1,3576
<i>Bandwidth</i>	843,9 MHz	540 MHz
	(1,354 GHz - 2,1979 GHz)	(1,32 GHz - 1,86 GHz)
<i>Gain</i>	2,3 dBi	2,025 dBi
<i>Pola Radiasi</i>	<i>Bidirectional</i>	<i>Bidirectional</i>

4. KESIMPULAN

Perancangan antenna bowtie antipodal pada frekuensi 1,6 GHz untuk GPR telah dilakukan. Hasil simulasi pada parameter antenna menunjukkan bahwa antenna telah memenuhi spesifikasi. Antenna yang dirancang sudah sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Antenna difabrikasi menggunakan bahan FR-4 Epoxy dengan beberapa penambahan metode. Penggunaan antenna struktur antipodal mampu menghasilkan *bandwidth* yang signifikan. Selain itu, penambahan metode *edge cutting* dan *matching impedance* transformator $\lambda/4$ juga dapat mencapai spesifikasi seperti *bandwidth* yang lebar dan *ringing level* yang rendah. Untuk penelitian selanjutnya

diharapkan mengganti atau menambahkan metode untuk melebarkan nilai *bandwidth*, menurunkan nilai *ringing level* dan pola radiasi unidirectional tanpa menurunkan nilai dari parameter antenna lain.

PUSTAKA

- Azizah, A. B. Suksmono, and A. Munir, "Signal processing of range detection for SFCW radars using Matlab and GNU radio," *Proceeding - 2014 Int. Conf. Comput. Control. Informatics Its Appl. "New Challenges Oppor. Big Data", IC3INA 2014*, no. October, pp. 145–148, 2014, doi: 10.1109/IC3INA.2014.7042617.
- Commission Federal Communications (FCC), "First Report and Order in The Matter of Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultrawideband Transmission System," *ET Docket 98-153*, vol. 20554, no. Washington, D.C, 2002.
- Daniel, D. J., *Surface Penetrating Radar*. The Institution of Electrical Engineers, 1996.
- Congedo, F. G. Monti, and L. Tarricone, "Modified bowtie antenna for GPR applications," *Proc. 13th Internarional Conf. Gr. Penetrating Radar, GPR 2010*, vol. 11, pp. 6–10, 2010, doi: 10.1109/ICGPR.2010.5550127.
- Harry M. Jol - *Ground Penetrating Radar Theory and Applications-Elsevier Science (2009)*.
- KARAMZADEH, S. O. F. KILIÇ, A. S. HEPBİÇER, and F. DEMİRBAŞ, "Bow Tie Antenna Design for GPR Applications," *Int. J. Electron. Mech. Mechatronics Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 1187–1194, 2016, doi: 10.17932/iau.ijemme.m.21460604.2016.6/2.1187-1194.
- Oktafiani, F. S. Sulistyaningsih, and Y. Wijayanto, "Sistem Ground Penetrating Radar Untuk Mendeteksi Benda-benda Di Bawah Permukaan Tanah," *INKOM J. Informatics, Control Syst. Comput.*, vol. 1, no. 2, pp. 53–57, 2007.
- R. V De Jongh, A. G. Yarovoy, L. P. Ligthart, I. V Kaploun, and A. D. Schukin, "Design and analysis of new GPR antenna concepts," *Proceedings, Seventh Inremational Conf. Ground-Penetrating Radar*, no. 1, pp. 81–86, 1998.
- R. C. Liu, Guo Chen., "A 900MHz shielded bow-tie antenna system for ground penetrating radar," *Proc. XIII Internarional Conf. Gr. Penetrating Radar*, no. Lecce, pp. 1–6, 2010, doi: 10.1109/ICGPR.2010.5550125.
- Saputra, M. A. H. Wijanto, and Y. Wahyu, "Antena Vivaldi Antipodal Sirkular Ultra Wide-Band (Uwb) Untuk Radar Tembus Tembok," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. 2018*, pp. 1–10, 2018. Available: jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek.