

Rancang Bangun Antena *Horn Planar* Frekuensi 1 – 3 GHz untuk *Ground Penetrating Radar*

LUCIA JAMBOLA¹, ALOYSIUS ADYA PRAMUDITA², MUHAMMAD ILHAM ADITYA³

^{1,3}Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

²Telkom University Bandung, Indonesia

Email: lucia@itenas.ac.id

Received 30 September 2024 | *Revised* 20 Oktober 2024 | *Accepted* 30 Oktober 2024

ABSTRAK

Antena horn planar merupakan antena yang menggunakan salah satu sisi antena horn berbentuk piramida dan beroperasi pada frekuensi diatas 1000 MHz. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat antena horn yang digunakan pada sistem ground penetrating radar (GPR) dan digunakan untuk mendeteksi objek bawah permukaan pada kedalaman rendah dan resolusi tinggi. Pada simulasi terlihat bahwa sinyal output dari keluaran yang dihasilkan sesuai dengan keluaran transmitter. Perancangan antena diawali dengan menggunakan software CST Studio kemudian difabrikasi menggunakan material substrat FR-04 dengan panjang dielektrik 4,3 dan tebal 1,6 mm. Produk rancangan mempunyai nilai VSWR dibawah 2 dan bandwidth 2,4 GHz dengan hasil port signal yang baik, dan untuk hasil fabrikasi memiliki nilai VSWR dibawah 2 dengan bandwidth 2,4GHz dan hasil port signal yang baik sesudah data diolah, untuk pencatuan antena menggunakan microstrip line. Antena yang dirancang sudah memenuhi persyaratan yang diperlukan.

Kata kunci: *GPR, Antena Horn Planar, VSWR, FR-04*

ABSTRACT

An antenna that employs one side of the pyramid-shaped horn antenna and functions at frequencies higher than 1000 MHz is called a planar horn antenna. In order to identify subsurface objects at low depths and high resolution, the goal of this project is to develop a horn antenna for the ground penetrating radar (GPR) system. It is evident from the simulation that the output signal generated by the output is consistent with the output of the transmitter. CST Studio software is used to design the antenna, which is then made from FR-04 substrate material that has a thickness of 1.6 mm and a dielectric length of 4.3. Following data processing, the fabrication results show a VSWR value below 2 with a bandwidth of 2.4GHz and good port signal results for antenna supply utilizing a microstrip line. The design product also has a VSWR value below 2 and a bandwidth of 2.4GHz. The antenna's design satisfies the necessary specifications

Keywords: *GPR, Antena Horn Planar, VSWR, FR-04*

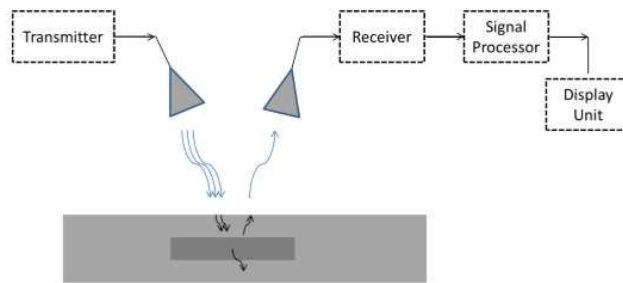
1. PENDAHULUAN

Teknologi radar dipakai untuk mengenali benda yang bergerak cepat, baik di udara, terhalang dinding, atau berada di bawah tanah. Radar dapat memanfaatkan gelombang elektromagnetik atau gelombang suara untuk beroperasi. Radar juga dapat menggunakan gelombang suara untuk menemukan objek yang tidak bergerak. **(Renaldi dkk, 2018)**

GPR adalah sebuah teknik geofisika yang digunakan untuk mendapatkan gambaran atau informasi mengenai lapisan tanah di bawah permukaan dengan kedalaman yang tidak terlalu dalam dan dengan kualitas resolusi yang cukup baik. GPR beroperasi berdasarkan prinsip elektromagnetik, dimana alat ini memanfaatkan pulsa radar atau radiasi elektromagnetik pada frekuensi mikro (UHF/VHF) yang akan dipantulkan kembali untuk mengidentifikasi struktur tanah yang ada di bawah. Metode GPR sangat sering digunakan untuk mendeteksi formasi batuan, tanah, es, air bersih, trotoar, dan material keras seperti pipa serta beton. Dengan demikian, teknik gpr dapat menemukan objek, perubahan bahan, celah, serta retakan, dan juga digunakan untuk berbagai keperluan dalam geoteknik. **(Jatmiko, dkk, 2016)(Tronics & Bahder, 2019) (Soewaeli & Sadikin, 2014)**

Ground Penetrating Radar (GPR) memiliki beberapa komponen, yaitu alat penghasil sinyal, pemancar, yang berfungsi untuk mengirimkan sinyal elektromagnetik, dan antena penerima yang berperan dalam mendeteksi gelombang elektromagnetik yang dipantulkan. **(Akbar, 2016) (Simangunsong & Lestari, 2016)**. Selain untuk menemukan benda yang terpendam, GPR juga dikembangkan untuk menembus dinding dan digunakan dalam aspek keamanan serta pertahanan, contohnya GPR digunakan untuk mengetahui lokasi ranjau. **(Hariyadi & Mukhidin, 2015)**. Penelitian yang dilakukan oleh Folin Oktafiani, Sulistyaningsih, dan Ahmad Munir pada tahun 2016 pengaruh jumlah profil ridge terhadap performansi antenahorn untuk aplikasi tomografi **(Oktafiani, dkk, 2016)**. Selanjutnya, studi oleh Achmad Alwan F, Dharu Arseno S.T.,M.T, dan Dr. Antonius Darma Setiawan bertujuan untuk merancang serta mewujudkan antena vivaldi yang beroperasi pada frekuensi antara 1,4-4,4 GHz. Hasil dari studi ini menunjukkan bahwa parameter operasional seperti bandwidth, polarisasi, return loss, serta VSWR telah tercapai baik pada tahap simulasi maupun pengukuran, namun untuk pengukuran gain pada frekuensi 1,4 dan 2,4 GHz masih belum berhasil dicapai. **(Alwan, Arseno & Setiawan, 2019) (Erdogan, 2009)**. Dalam studi yang dilakukan oleh Muhammad Ichsan, dijelaskan bahwa antena horn memiliki beberapa keunggulan, seperti gain yang besar, bandwidth yang cukup lebar, ringan, dan mudah untuk dibuat. Penggunaan antena horn juga sangat umum **(Ichsan, 2012)**, di samping mudah untuk diproduksi. Antena horn berbentuk piramida biasanya berfungsi pada frekuensi gelombang mikro yang lebih dari 1000 MHz. **(Dhani & Aswoyo, 2011)**.

Dalam penelitian ini, telah dilakukan desain dan realisasi antena horn untuk mendeteksi objek yang terpendam di dalam tanah dan bekerja pada frekuensi 1-3GHz serta mengetahui jarak dari antena ke objek tersebut. Untuk pengujian, dilakukan dengan mensimulasikan desain antena horn pada frekuensi 1-3GHz setelah hasil simulasi sesuai dengan apa yang diinginkan maka antena akan direalisasikan untuk ground penetrating radar. Gambar 1 menunjukkan skema kerja dari GPR pada gambar tersebut banyak kasus antena pada transmitter dan receiver sama.

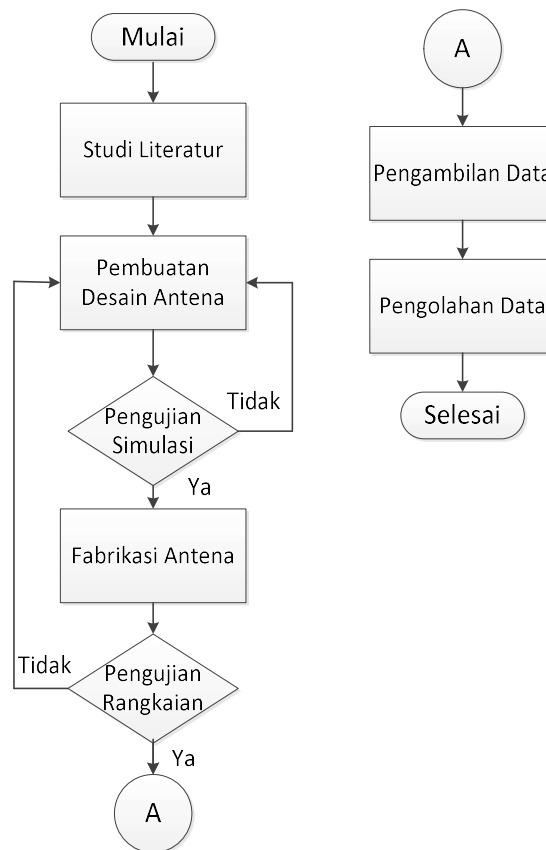


Gambar 1. Skema GPR

2. METODOLOGI

2.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan merujuk pada diagram alir yang ditunjukkan dalam Gambar 2 di bawah. Proses dimulai dengan studi literatur mengenai antenna mikrostrip untuk ground penetrating radar. Pemilihan antenna mikrostrip didasari oleh beberapa pertimbangan, di antaranya adalah sifat material yang sederhana (low profile), ringan, kemudahan integrasi dengan sistem lain, serta biaya fabrikasi yang lebih ekonomis.



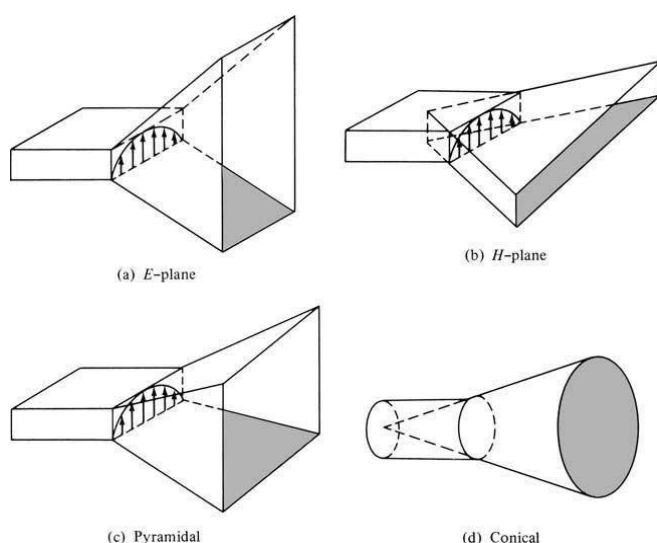
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Rancang Bangun Antena *Horn Planar* dengan Frekuensi 1 – 3 GHz untuk *Ground Penetrating Radar*

Penelitian diawali dengan studi literatur sebagai bahan referensi. Setelah studi literatur maka dilakukan design antena horn planar untuk frekuensi 1-3GHz dengan tujuan $VSWR < 2$ atau mendapatkan sinyal di input port signal yang sama dengan outputnya, Jika sudah didapatkan input port signal sama dengan output dan $VSWR < 2$ maka dilakukan proses fabrikasi. Pada fabrikasi digunakan substrat FR-4 dengan ketebalan 1.6mm. Analisa dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan melihat hasil input pada port signal.

2.2 Antena Horn

Salah satu antenna sederhana dan paling sering digunakan adalah antenna horn.. Antena Horn merupakan salah satu antena microwave yang digunakan secara luas. Antena ini muncul dan digunakan pada awal tahun 1800-an. Walaupun sempat terabaikan pada tahun 1900-an, antena horn digunakan kembali pada tahun 1930-an. Antena ini dipakai dalam sistem telekomunikasi gelombang mikro (**Balanis, 2016**). Horn atau biasanya disebut juga sebagai elektromagnetik horn dipakai sebagai alat transisi antara saluran transmisi dan ruang bebas sehingga merupakan matching untuk gelombang terbimbing ke gelombang bebas atau sebaliknya. Disamping itu juga horn dipakai sebagai alat untuk memberikan pengarahan (*directivity*) yang baik bagi gelombang-gelombang elektromagnet dengan bidang frekuensi yang cukup lebar. Salah satu kelebihan antena horn adalah pengaplikasiannya yang cukup banyak, seperti sebagai pemancar untuk satelit dan peralatan komunikasi di seluruh dunia, serta sebagai pencatu untuk aplikasi radar. Antena horn piramida umumnya dioperasikan pada frekuensi gelombang mikro (microwave) di atas 1000 MHz. Antena *horn* ini dipilih karena mempunyai gain yang tinggi, $VSWR$ yang rendah, lebar pita (*bandwidth*) yang relatif besar, tidak berat, dan mudah dibuat. Antena ini merupakan antena celah (*aperture antenna*) berbentuk piramida yang mulutnya melebar ke arah bidang medan listrik (E) dan bidang magnet (H) dengan berbasis saluran bumbung gelombang persegi (*rectangular waveguide*) (**Balanis, 2016**). Berikut jenis-jenis *antenna horn* :



Gambar 3. Jenis-Jenis Antena Horn

2.3 Perancangan Desain Antena

Pada tahap perancangan desain antena *Horn Planar* ini, parameter dimensi antenna yang dihitung adalah panjang antena, lebar antena, tapered length, panjang *slotline* dan lebar slotline.

Frekuensi terendah pada antena yang akan didesain adalah 1 GHz. Formula untuk mencari panjang antena, (*PA*) dan lebar antena (*LA*) berturut – turut ditunjukkan oleh Persamaan (1) dan Persamaan (2).

$$PA = \frac{c}{f_1 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

$$LA = \frac{1}{2} \times \frac{d}{f_1 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

dimana *c* adalah kecepatan cahaya, *f₁* adalah frekuensi kerja terendah dan ϵ_r adalah permitivitas relatif. Untuk menghitung tapered length (*TL*) antena, dapat digunakan Persamaan (3) yang dijelaskan pada **(Shan, Xu, & Lin, 2017)** bahwa nilai tapered length (*TL*) sebesar setengah panjang gelombang memberikan efisiensi antena yang baik.

$$TL = \frac{1}{2} \times \frac{d}{f_1 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

Nilai dari panjang *slotline* dapat diketahui dari selisih panjang antena keseluruhan dengan *backwall offset* dan panjang *taper slot*. Panjang *slotline* sudah termasuk dengan panjang *stub* dengan nilai seperempat panjang gelombang dari titik temu *slotline* dengan mikrostrip. Formula untuk menghitung panjang *slotline* (*sL*) antena dan lebar *slotline* (*s*) antena berturut – turut ditunjukkan oleh Persamaan (4) dan Persamaan (5) **(Yin, Wang, & Zhao, 2016)**.

$$SL = PA - bwo - TL \quad (4)$$

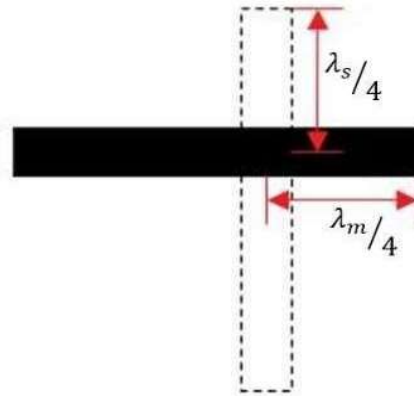
$$S = \frac{c}{f_2 \sqrt{\epsilon_r}} \times 25\% \quad (5)$$

Stub merupakan bagian dari material yang memiliki panjang seperempat dari panjang gelombang. Terdapat dua tipe, yaitu stub dengan panjang slotline dan stub dengan panjang stripline atau mikrostrip (Rajaraman, 2001). Untuk menentukan panjang stub (*stubL*), kita bisa melihat pada Persamaan (6), dimana *f_c* menunjukkan frekuensi tengah dari area frekuensi yang digunakan antena.

$$StubL = 0,25 \times \frac{c}{f_c \sqrt{\epsilon_r}} \quad (6)$$

Gambar 4 menggambarkan panjang stub slotline, λ_s , yang bernilai seperempat panjang gelombang serta panjang stub mikrostrip, λ_m , yang juga bernilai seperempat panjang gelombang

Rancang Bangun Antena *Horn Planar* dengan Frekuensi 1 – 3 GHz untuk *Ground Penetrating Radar*



Gambar 4. Panjang Stub Slotline

Parameter dimensi untuk antena horn planar, yang telah dihitung, dirangkum dalam Tabel 1. Parameter ini ditentukan melalui analisis perhitungan dan studi literatur.

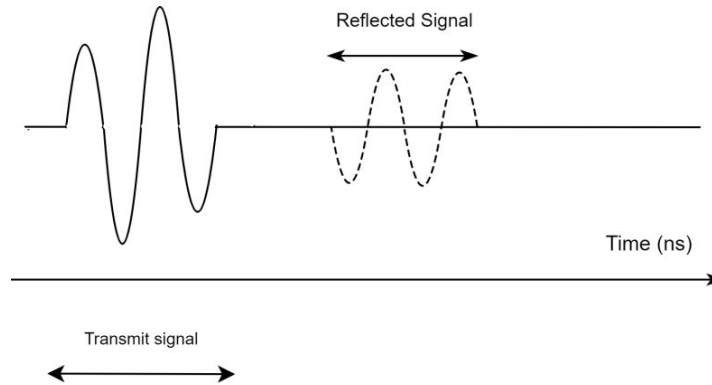
Tabel 1. Parameter Awal Dimensi Antena Horn Planar

Parameter	Lambang	Nilai Awal
Tapered Length	TL	72.3mm
Mouth Opening	MO	45mm
Panjang Stub	stubL	3.75mm
Panjang Slotline	sL	49mm
Lebar Slotline	s	0.5mm
Panjang Antena	PA	144.6mm
Lebar Antena	LA	72.3mm
Tebal Cooper	-	0.035mm
Tebal Substrat	H	1.6mm
Backwall Offset	Bwo	1mm
Lebar Mikrostrip	W	3mm

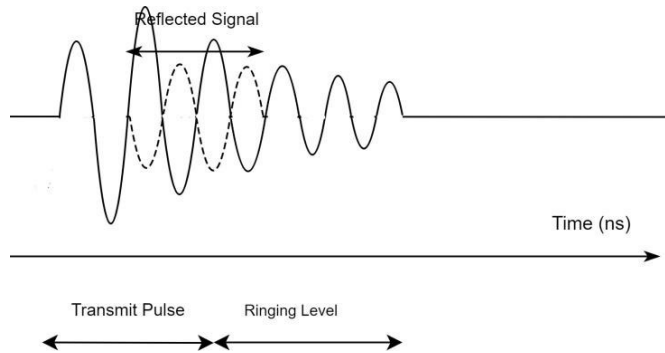
2.4 Ringing Level

Dalam penerapan GPR dibutuhkan antena dengan karakteristik bandwidth ultra lebar untuk mendapatkan resolusi yang tinggi, hal ini mempengaruhi lebar pulsa yang dibutuhkan, dimana antena bandwidth ultra lebar yang dibutuhkan adalah antena yang dapat mengirim dan menerima dalam waktu yang singkat. Kemampuan antena GPR dilihat dari distorsi antena yang dapat direpresentasikan dengan menggunakan ringing level. Umumnya, tingkat dering maksimum yang masih diperbolehkan dalam survei GPR adalah sekitar -30 dB (**Munir, Simorangkir, & Kurniawan, 2017**). Antena yang menghasilkan ringing level lebih rendah memiliki kemampuan deteksi yang lebih baik daripada antena ringing level waktu tinggi. Jika sinyal pantul dari objek datang selama periode dering, akan menyebabkan sinyal dering dan sinyal target sulit dibedakan. Artinya, antena yang menghasilkan dering lebih rendah mempunyai kemampuan deteksi lebih baik daripada antena yang menghasilkan dering yang lebih tinggi.

Menurut (**Jongh, 1998**), sinyal pancar yang menunjukkan tingkat late-time ringing yang tinggi dapat menyebabkan tumpang tindih sinyal pantul yang berasal dari objek. Apabila dering terlambat dapat diminimalkan, proses deteksi tidak akan terpengaruh oleh tingkat dering tersebut..



Gambar 5. Antena Dengan Low Ringing Time

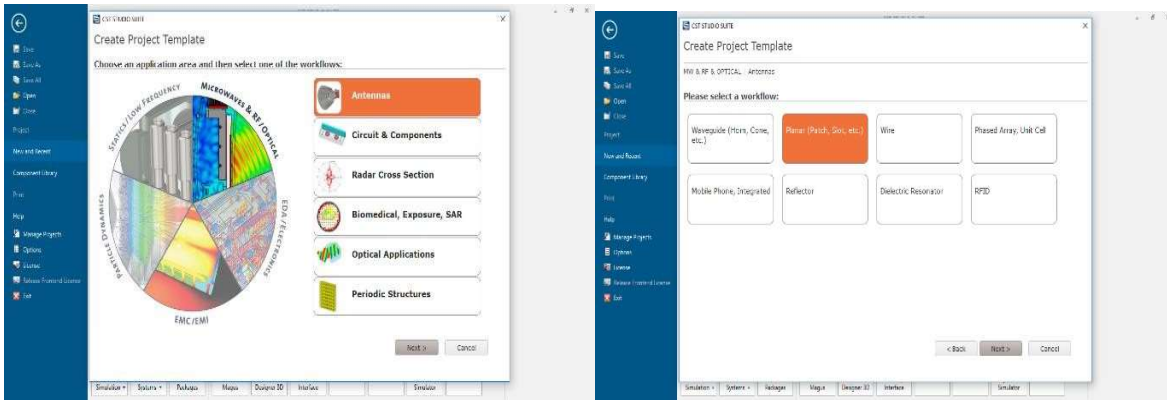


Gambar 6. Antena Dengan High Ringing Time

2.4 CST Studio Suite

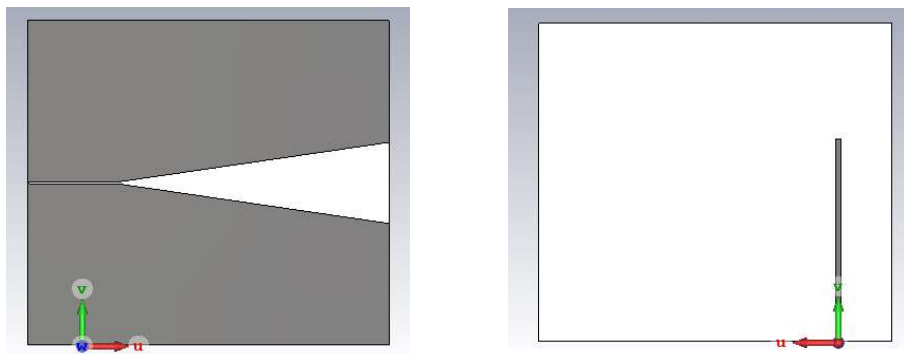
CST Microwave Studio adalah sebuah software yang digunakan untuk merancang antena dan sebagai alat bantu dalam penyelesaian masalah medan elektromagnetik. Itulah sebabnya software ini diterapkan dalam desain antena patch (**Trisnawan dan Kristiyana, 2017**). Di bawah ini terdapat gambar yang memperlihatkan pilihan program yang digunakan untuk membuat antena horn planar.

Rancang Bangun Antena *Horn Planar* dengan Frekuensi 1 – 3 GHz untuk *Ground Penetrating Radar*



(a) (b)
Gambar 7. Pemilihan Program Yang di Pakai

Gambar 7 (a) merupakan langkah awal untuk bisa membuat design antena karena banyaknya program yang bisa di pakai pada aplikasi CST Studio ini. Gambar 7 (b) merupakan pemodelan antena planar karena ada banyak pemodelan seperti reflector, waveguide dan yang di pakai adalah model planar



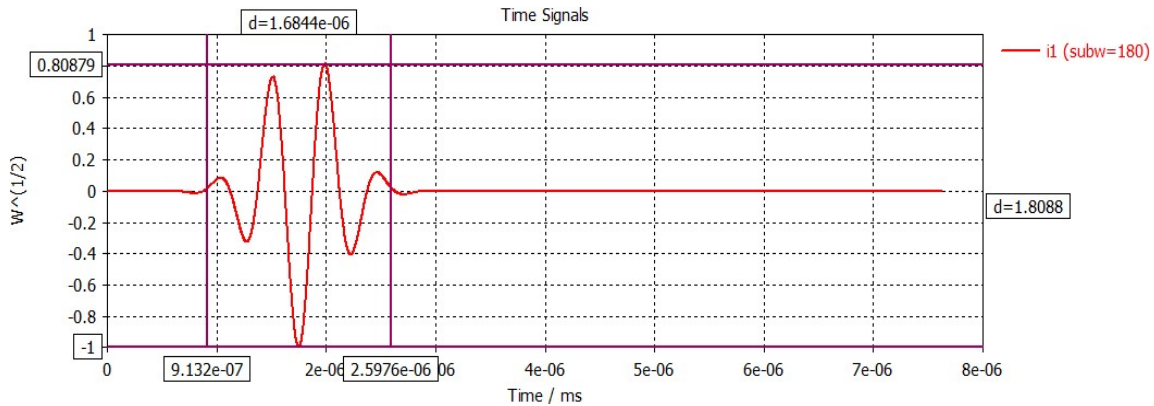
(a) (b)
Gambar 8. Hasil Design Antena Dengan CST Studio

Gambar 8 (a) merupakan tampak depan antena horn planar sedangkan Gambar 8 (b) merupakan antena tampak belakang horn planar.

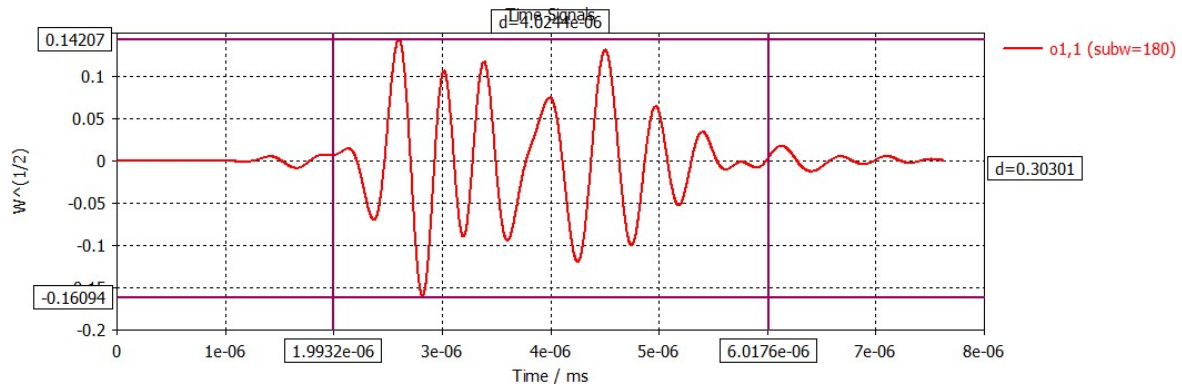
3. HASIL IMPLEMENTASI DAN ANALISIS

3.1 Hasil Simulasi

Sebelum proses fabrikasi nilai-nilai parameter performansi antena yang dirancang sudah dapat diketahui melalui proses simulasi. Untuk mendapatkan frekuensi kerja sesuai spesifikasi yang diinginkan, maka input sinyal harus sama dengan output sinyal dan $VSWR \leq 2$ pada frekuensi 1-3GHz. Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan sinyal yang dipancarkan antena dan sinyal yang dikirim antena. Dari kedua gambar tersebut dapat dilihat bahwa sinyal output dan input memiliki bentuk sinyal yang sama.



Gambar 9. Sinyal Yang Dikirim Ke Antena



Gambar 10. Sinyal Yang Dipancarkan Oleh Antena

Dari Gambar 9, bisa didapatkan jarak kedalaman antena yang bisa dicapai melalui perhitungan dengan persamaan

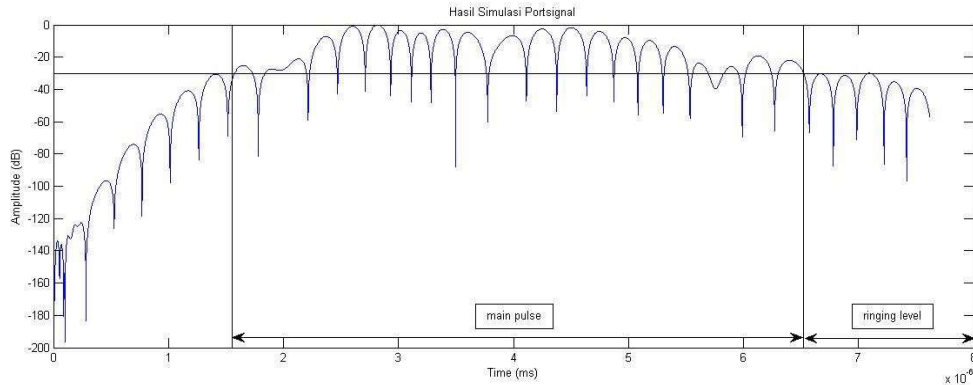
$$d = cx \frac{T}{2} = 3 \times 10^8 \times \frac{1,6 \times 10^{-9}}{2} = 0,24 \text{ cm}$$

Dimana c : kecepatan cahaya

Artinya antena horn planar yang dirancang dapat mendeteksi objek berada $\leq 0,24$ cm dari permukaan tanah

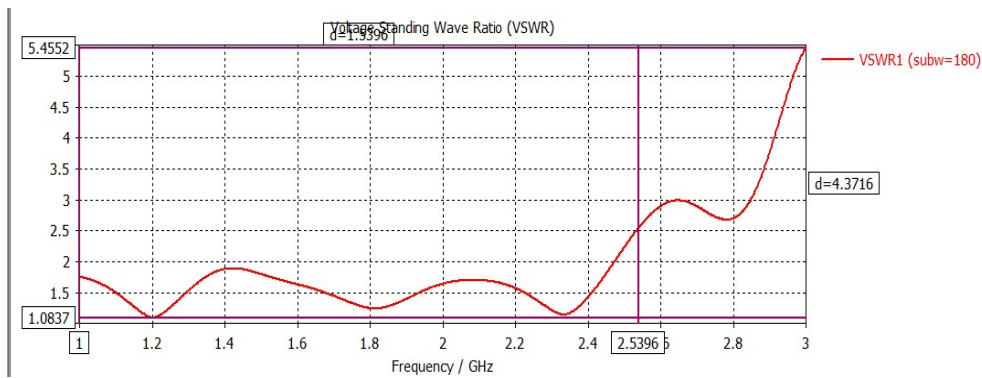
Gambar 11 menunjukkan nilai level ringing pada antenna horn. Umumnya, tingkat dering maksimum yang masih diperbolehkan dalam survei GPR adalah sekitar -30 dB. Maka dari itu ketika sinyal melebihi -30 dB disebut main pulse dan sesudah turun dari -30 dB disebut ringing level. Ringing level dibutuhkan agar untuk membedakan ketika sinyal pantulan datang dari objek.

Rancang Bangun Antena *Horn Planar* dengan Frekuensi 1 – 3 GHz untuk *Ground Penetrating Radar*



Gambar 11. Input Sinyal Yang Diterima Setelah Pengolahan Data

Gambar 12 menunjukkan hasil simulasi VSWR, pada frekuensi 1-2,4GHz didapatkan VSWR ≤ 2 sedangkan untuk frekuensi 2,4-3GHz didapatkan VSWR > 2 yang berarti antenna ini bisa bekerja dengan baik di frekuensi 1-2,4GHz



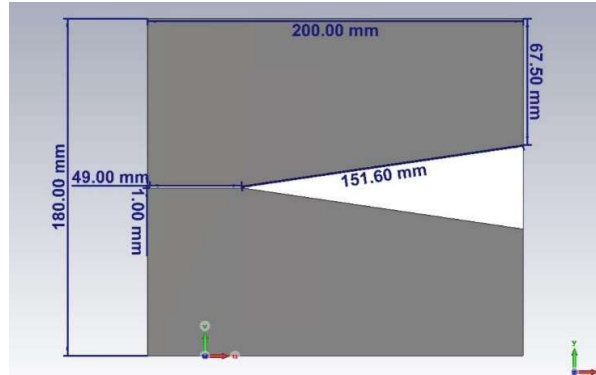
Gambar 12. Hasil Simulasi VSWR Frekuensi 1-3GHz

Hasil pada Gambar 12 didapatkan setelah antenna di optimasi dari ukuran awal karena tapered length, panjang stub, panjang slotline mempengaruhi kinerja antenna. Tabel 2 dibawah menunjukkan parameter dimensi antenna horn setelah di optimasi.

Tabel 2. Parameter Dimensi Antena Horn Planar Setelah Optimasi

Parameter	Lambang	Nilai Awal	Nilai Setelah Optimasi
Tapered Length	TL	72.3 mm	150 mm
Mouth Opening	MO	45 mm	45 mm
Panjang Stub	stubL	24.1 mm	24.1 mm
Panjang Slotline	sL	49 mm	49 mm
Lebar Slotline	s	0.5 mm	0.5 mm
Panjang Antena	PA	144.6 mm	200 mm
Lebar Antena	LA	72.3 mm	180 mm
Tebal Cooper	-	0.035 mm	0.035 mm
Tebal Substrat	H	1.6 mm	1.6 mm
Backwall Offset	Bwo	1 mm	1 mm
Lebar Mikrostrip	W	3 mm	3 mm

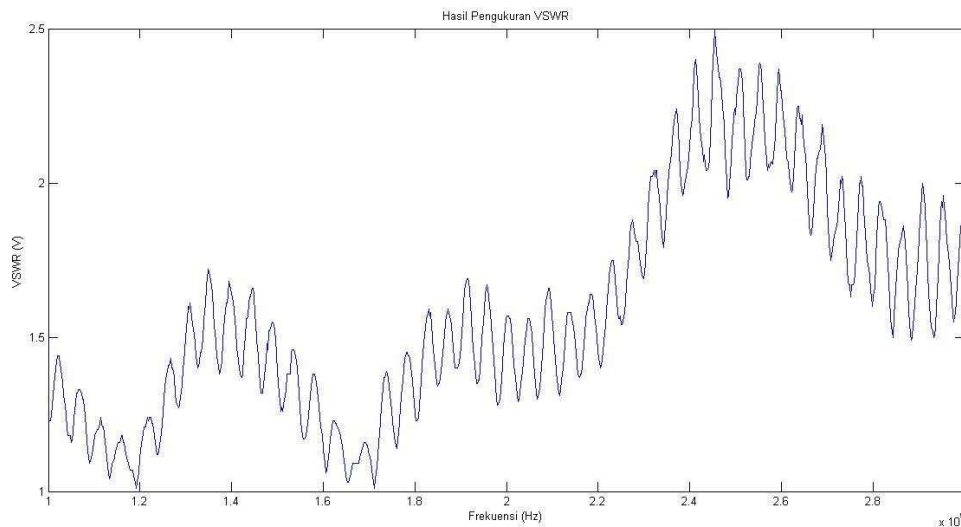
Setelah proses optimasi dilakukan, maka dilakukan simulasi dengan nilai parameter antenna terpilih. Gambar 13 merupakan ukuran desain antenna setelah optimasi



Gambar 13. Desain Antena Horn Planar Setelah Optimasi

3.2 Hasil Pengukuran

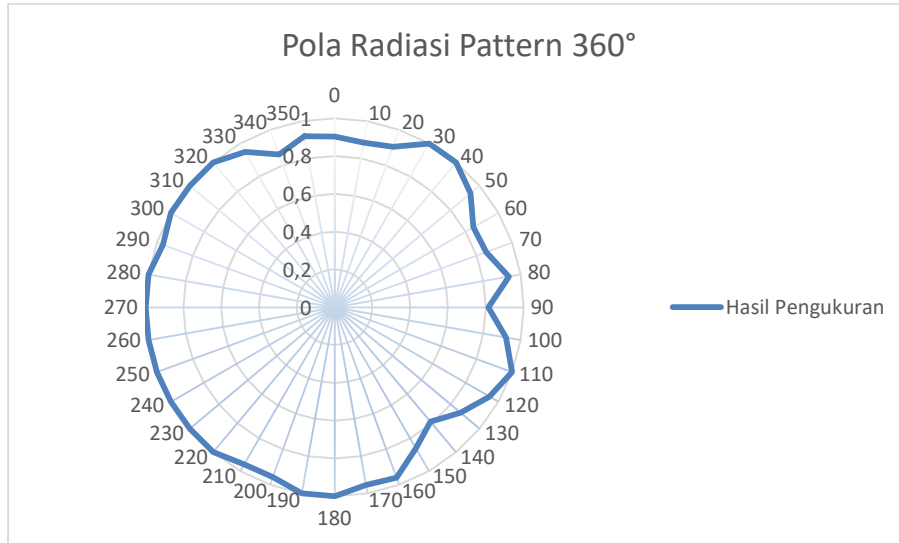
Setelah simulasi selesai, antenna yang dirancang kemudian diproduksi menggunakan parameter-parameter yang telah dioptimalkan, dan selanjutnya dilakukan pengukuran pada antenna yang telah diproduksi. Antenna yang diproduksi dan hasil pengukurannya ditampilkan di Gambar 14 untuk VSWR dan Gambar 15 sampai Gambar 16 Dari pengukuran dan simulasi mengenai VSWR dan transmisi, antenna yang diproduksi menunjukkan sedikit perbedaan. Hal ini dapat disebabkan karena adanya perbedaan dalam parameter antara desain antenna dan antenna yang diproduksi, yang sulit untuk dihindari, seperti lebar slotline, lebar mikrostip, dan ukuran mouth opening.



Gambar 14. Hasil Pengukuran VSWR Frekuensi 1-3 GHz

Rancang Bangun Antena *Horn Planar* dengan Frekuensi 1 – 3 GHz untuk *Ground Penetrating Radar*

Gambar 15 memperlihatkan bahwa antena horn planar yang telah dibuat tergolong dalam kategori antena directional. Antena ini memiliki lebar sinar yang sempit (*narrow beamwidth*), artinya sudut pemancarannya kecil dengan kekuatan yang lebih terfokus. Antena ini dapat menjangkau jarak yang jauh, namun tidak dapat mencakup area yang luas. Antena directional hanya mampu mengirim dan menerima sinyal radio dalam satu arah saja.



Gambar 15. Hasil Pengukuran Pola Radiasi Pattern 360° Frekuensi 1-3GHz

Gambar 16 dibawah ini menunjukkan antenna horn yang telah difabrikasi.



Gambar 16. Foto Antena Horn Planar Yang Telah Difabrikasi

4. KESIMPULAN

Hasil perancangan dan hasil simulasi menunjukkan bahwa optimasi antena horn planar dapat dilakukan dengan mengubah nilai dari parameter antenna, dapat mengubah nilai VSWR dan port signal pada rentang frekuensi tertentu. Hasil fabrikasi dan simulasi pun memiliki sedikit perbedaan

dikarenakan terdapat perbedaan parameter antara desain antena dan antena hasil fabrikasi yang sulit untuk dihindari, seperti lebar slotline, lebar mikrostrip dan besarnya mouth opening. Antenna horn planar dapat bekerja dengan baik pada frekuensi 1-2,4GHz. Antenna horn planar dapat mendeteksi keberadaan suatu benda yang berada kurang dari 0,24cm dibawah tanah

DAFTAR RUJUKAN

- Alwan, A., Arseno, D., & Setiawan A. (2019). Perancangan Dan Realisasi Antena Mikrostrip Dengan Frekuensi 1.4-4.4 Untuk Ground Penetrating Radar. *e-Proceeding of Engineering*, 6(1).
- Akbar, M. (2016). Penentuan Posisi Pipa Menggunakan Metode GPR. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek 2016*, (pp. 255 – 259).
- Balanis, C.A. (2016). *Antena Theory Analysis And Design, Third Edition*. Wiley- Interscience, New Jersey
- Daniels, J.J.(2000). *Ground penetrating radar fundamentals*.The Ohio University.
- Dhani, P, J, R., Aswoyo, B. (2011). *Perancangan Dan Pembuatan Antena Horn Dual Piramidal Dual Polarisasi Untuk Aplikasi WIMAX Di Indonesia*. EEPIS-ITS (Institut Teknologi Sepuluh November)
- Erdogan, Y. (2009). *Parametric Study and Design of Vivaldi Antennas and Arrays*. Ankara, Turki: Middle East Technical University. <https://doi.org/10.1063/1.1328410>
- Hariyadi, T., & Mukhidin, M. (2015). Studi Parametrik Antena Vivaldi Slot dengan Pencatuan Mikrostrip. *In Seminar Nasional Teknologi (SENATEK) 2015*, (pp. 397–403). Malang: Institut Teknologi Nasional Malang.
- Ichsan, M. (2012). Rancang Bangun Antena Horn Menggunakan Teknik Penambahan Bahan Metal Yang Bekerja Pada Frekuensi 2.8GHz – 3.4GHz. Skripsi. Universitas Indonesia.
- Munir, A., Simorangkir, R. B. V. B., and Kurniawan, F. (2017). Late-time Ringing Jatmiko, F. A. W., Mandang, I., Budiono, K.(2016). Interpretasi Sedimen Bawah Permukaan Tanah Dengan Menggunakan Metode Ground Penetrating Radar (GPR) di daerah Pantai Kulon Progo Daerah Istimewa Yogyakarta. *Prosiding Seminar Sains dan Teknologi FMIPA Unmul Samarinda*, (pp. 13 – 17).
- Oktafiani, F., Sulistyarningsih, Munir, A. (2016). Efek Jumlah Ridge terhadap Performansi Antena. *Jurnal Elkomika*, 12(2), 429-440. <http://dx.doi.org/10.26760/elkomika.v12i2.429>
- Rajaraman, R. (2001). *Design Of a Wideband Vivaldi Antenna Array for the Snow Radar*. B.E. (Electronics & Communications Engg.), Coimbatore Inst. of Tech, India.

Rancang Bangun Antena *Horn Planar* dengan Frekuensi 1 – 3 GHz untuk
Ground Penetrating Radar

- Renaldi, L., Hadiyoso, S., & Ramadan, D. N. (2018). Purwarupa Radar sebagai Pendeteksi Benda Diam menggunakan Ultrasonik. *Jurnal Elkomika*, 6(3), 317–327. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v6i3.317>
- Simangunsong, Lestari, S.(2016).*Perancangan Antena Microstrip Array Untuk Aplikasi Antena Radar*. Repository Universitas Sumatera Utara.
- Shan, J., Xu, A., & Lin, J. (2017). A parametric study of microstrip-fed Vivaldi antenna. *The 2017 3rd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC)*, (pp.1099–1103). <https://doi.org/10.1109/CompComm.2017.8322713>
- Soewaeli, A. S., Sadikin, N.(2014). Pemetaan Kondisi Bawah Permukaan Dengan Meod Geofisika (Studi Kasus : Bendungan Pasarbaru Tangerang). *Jurnal Teknik Hidraulik* , 5(2), 99 - 110.
- Trisnawan, T., & Kristiyana, S. (2017). Rancang Bangun Antena Patch Spektrum Sebar Menggunakan Aplikasi CST Microwave Studio. *Jurnal Elektrikal*, 4(2), 11 – 19.
- Tronics, A., Bahder, I.(2019). Penggunaan Aplikasi Ground Penetrating Radar Dengan Metode Non-Destructive Untuk Kolektifitas Data Kualitatif Pada Analisa Subsurface Tanah Ekstrim Lunak. *Prosiding PERHAPI*, (pp. 167 – 180).
- Yin, T., Wang, Y., & Zhao, M. (2016). A design of modified Vivaldi antenna BT. *The 5th International Conference on Advanced Materials and Computer Science (ICAMCS 2016)*. Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/icamcs-16.2016.145>