

Perancangan dan Optimasi Antena Vivaldi pada Sistem Radar Penembus Permukaan (*Ground Penetrating Radar*)

BASO MARUDDANI^{1,2}, EFRI SANDI¹, MUHAMMAD FADHIL NAUFAL SALAM¹

¹Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta

²DJA Institute, Jakarta

Email: basomaruddani@unj.ac.id

Received 26 November 2018 | *Revised* 17 Desember 2018 | *Accepted* 7 Januari 2019

ABSTRAK

Antena Vivaldi merupakan salah satu jenis antena yang diimplementasikan pada radar penembus permukaan (Ground Penetrating Radar, GPR). GPR adalah salah satu metode non-destructive testing yang biasa digunakan untuk mengetahui kondisi beton/jalan raya. Penelitian ini merancang sebuah antena Vivaldi untuk digunakan pada GPR dengan frekuensi kerja 1 GHz – 2 GHz. Metode yang digunakan untuk merancang dan mengoptimasi antena Vivaldi adalah dengan mengubah beberapa parameter untuk mencapai spesifikasi yang diinginkan. Parameter tersebut antara lain lebar antena, panjang antena dan tapered slot. Optimasi yang dilakukan tetap memperhatikan pola radiasi antena agar tetap terarah. Hasil penelitian ini menghasilkan antena Vivaldi dengan dimensi 350x300 mm dengan return loss di bawah -10 dB pada rentang frekuensi 1 GHz – 2 GHz. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa perubahan nilai parameter lebar antena dan tapered slot menggeser frekuensi kerja antena secara signifikan.

Kata kunci: *Ground Penetrating Radar, Vivaldi, return loss, parameter antena*

ABSTRACT

The Vivaldi antenna is one type of antenna that is implemented on Ground Penetrating Radar (GPR). GPR is one of the non-destructive testing methods commonly used to determine the condition of concrete / highway. This study aim to design a Vivaldi antenna to be used on GPR with a working frequency of 1 GHz - 2 GHz. The method that used to design and optimize Vivaldi antennas is by changing several parameters to achieve the desired specifications. These parameters include antenna width, antenna length and tapered slot. Optimization carried out still observes the radiation pattern of the antenna to keep it directed. The results showed that 350 x 300 mm antennas with return loss below -10 dB in the frequency range of 1 GHz - 2 GHz. The results also show that changes in the parameter width of the antenna and tapered slots shift the antenna working frequency significantly.

Keywords: *Ground Penetrating Radar, Vivaldi, return loss, antenna parameter*

1. PENDAHULUAN

Teknologi radar digunakan untuk mendeteksi benda kian berkembang pesat, baik yang berada di udara, di balik dinding, maupun di dalam tanah. Untuk implementasinya, radar dapat menggunakan gelombang suara maupun gelombang elektromagnetik. Pada radar yang menggunakan gelombang suara untuk mendeteksi benda diam sudah diteliti oleh **(Renaldi, Hadiyoso, & Ramadan, 2018)**. Pemanfaatan gelombang suara digunakan sebagai solusi penginderaan objek. Pada penelitian **(Paulet, Salceanu, & Neacsu, 2016)** dikembangkan suatu radar dengan *library* yang spesifik sebagai antar muka sensor dan Arduino. Kekurangan dari pemanfaatan gelombang suara pada radar adalah ketelitian dan resolusi yang kurang untuk menginderaan objek pada jarak jauh serta gelombang suara yang membutuhkan media untuk perambatan gelombangnya. Untuk mendeteksi benda pada jarak yang jauh dan resolusi yang tinggi, radar menggunakan gelombang elektromagnetik. Salah satu aplikasinya adalah Radar Penembus Permukaan atau yang dikenal sebagai GPR (*Ground Penetrating Radar*). GPR adalah suatu alat pencitra yang menggunakan gelombang elektromagnetik untuk melihat material yang berada di bawah tanah. GPR dikembangkan pada berbagai disiplin ilmu seperti *groundwater contamination, geotechnical, engineering, sedimentology, glaciology, dan archaeology*. Penggunaan GPR dibedakan berdasarkan material yang ingin dipetakan tanpa harus merusak struktur yang ada. Setiap material membutuhkan spesifikasi sistem yang berbeda untuk dapat mendeteksi material tersebut. Material yang dimaksud bisa mineral, batu, kayu, logam, kedalaman tanah, maupun kedalaman permukaan air. Selain untuk mendeteksi material yang terkubur, GPR dalam pengembangannya ada yang digunakan untuk menembus dinding dan untuk kepentingan keamanan dan pertahanan, misalnya GPR digunakan untuk mendeteksi keberadaan ranjau **(Hariyadi & Mukhidin, 2015)**. Saat awal kemunculannya, teknologi GPR digunakan untuk mendeteksi material alami. Namun seiring dengan perkembangan teori dan tekniknya, GPR digunakan pula mendeteksi material yang tidak alami seperti aspal, beton, bahkan struktur jembatan.

Secara sederhana, cara kerja GPR adalah menghitung pantulan ataupun penyebaran gelombang elektromagnetik yang ditembakkan ke suatu permukaan. Jenis material yang akan dipetakan dan resolusi GPR ditentukan oleh antena dan frekuensi yang digunakan. Antena merupakan salah satu sub-sistem yang berperan penting terhadap kinerja GPR. Oleh karena itu, pada GPR dibutuhkan antena yang memiliki karakteristik *bandwidth* yang lebar dan *beam* yang sempit. Dalam hal ini, antena Vivaldi merupakan salah satu jenis antena yang dapat memenuhi kebutuhan untuk pengaplikasian GPR karena antena Vivaldi memiliki lebar *bandwidth* yang cukup luas dan pola radiasi yang terarah karena *beam* yang sempit. Antena Vivaldi termasuk kedalam golongan *Tapered Slot Antenna (TSA)* dimana antena Vivaldi memiliki struktur logam (*patch*) yang meruncing di satu sisinya. Antena Vivaldi cukup menjawab kebutuhan antena untuk sistem GPR.

Konsep antena Vivaldi pertama kali diperkenalkan oleh Gibson **(Gibson, 1979)**. Antena Vivaldi dapat bekerja dengan *bandwidth* yang lebar, *gain* yang tinggi, pola radiasi yang terarah dan *side lobe* yang rendah **(Rajaraman, 1999)**. Antena Vivaldi ini cukup banyak digunakan untuk keperluan radar. Antena Vivaldi yang dibahas pada makalah ini berbasis mikrostrip dimana antena mikrostrip memiliki kelebihan struktur yang planar, dan juga biaya fabrikasi yang relatif murah **(Shuppert, 1988)**. Antena mikrostrip memiliki kelemahan yang berbanding terbalik dengan antena Vivaldi yaitu sempitnya *bandwidth* dan kecilnya *gain*. Penelitian tentang antena Vivaldi dan karakteristiknya sudah banyak diteliti antara lain pada **(Gazit, 1988)** yang mengembangkan dan menginvestigasi antena Vivaldi dan perubahan *feeding* dari *microstripe* ke *slot line*. Hal tersebut mempengaruhi *beamwidth* antena. Pada **(Gazit, 1988)** juga diinvestigasi perubahan panjang antena yang digunakan sebagai fungsi

kontrol terhadap *bandwidth*. Pada **(Sharp & Kyprianou, 2007)** perubahan parameter antenna diinvestigasi antara lain perubahan bentuk antenna, penggunaan material dielektrik antenna dan ketebalan substrat terhadap lebar *bandwidth*. Novelty pada penelitian ini adalah peneliti mengobservasi perubahan beberapa nilai parameter antenna terhadap perubahan *bandwidth* antenna Vivaldi. Parameter tersebut antara lain panjang antenna, lebar antenna dan *tapered slot*. Peneliti menyimulasikan antenna mikrostrip Vivaldi dengan optimasi agar antenna yang dibuat memiliki *bandwidth* yang lebar dengan mengubah beberapa parameter dimensi antenna.

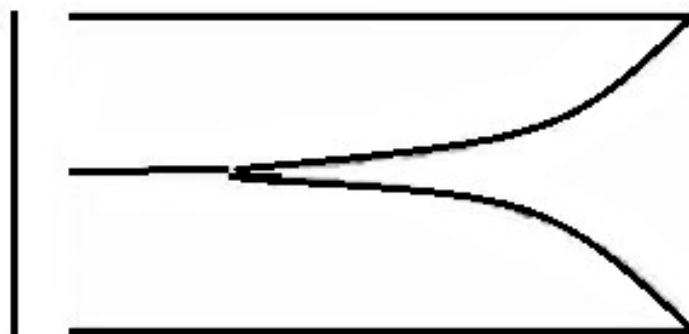
Desain GPR ditentukan oleh material apa yang akan dipetakan oleh aplikasi. Hal ini dikarenakan setiap material memiliki nilai permitivitas dielektrik relatif yang berbeda beda. Frekuensi kerja yang digunakan akan menentukan material yang akan dideteksi begitupun sebaliknya, material yang akan dipetakan akan menentukan pada frekuensi berapa antenna GPR akan dibuat. Lebarnya *bandwidth* juga dapat menentukan bagaimana kinerja aplikasi GPR.

Lebar *bandwidth* menentukan bagaimana resolusi yang diterima. NDT (*Non-Destructive Testing*) *Transportation* merupakan salah satu hasil pengembangan teknologi GPR untuk material infrastruktur jalan. *Air-coupled system antennas* terpasang dalam posisi tergantung pada NDT *Transportation* pada frekuensi 500MHz - 2.5GHz. Kelebihan menggunakan *air-coupled system antennas* adalah proses pengambilan data bisa dilakukan di atas kendaraan yang melaju dengan kecepatan tinggi hingga mencapai kecepatan 100km/jam **(Jol, 2008)**.

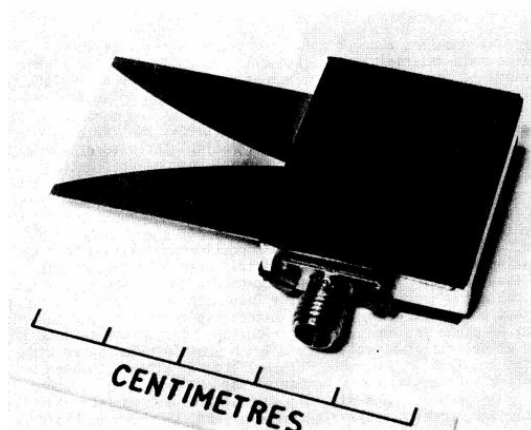
2. DESAIN DAN PERANCANGAN ANTENA

2.1 Antena Vivaldi

Antena Vivaldi pertama kali diperkenalkan oleh Gibson pada tahun 1979 yang memiliki karakteristik *bandwidth yang* lebar dan pola radiasi *directional* **(Hariyadi & Mukhidin, 2015)**. Antena Vivaldi secara teoritis memiliki *bandwidth yang* tak terhingga dan *gain* yang signifikan serta memiliki polarisasi linear **(Gibson, 1979)**. Antena Vivaldi termasuk ke dalam jenis *Exponential Tapered Slot Antena (TSA)*. Gambar 1 menunjukkan desain tradisional Vivaldi mengacu pada desain awal yang diperkenalkan oleh Gibson dan Gambar 2 adalah implementasi antena Vivaldi yang diperkenalkan oleh Gibson.



Gambar 1. Desain Tradisional Antena Vivaldi



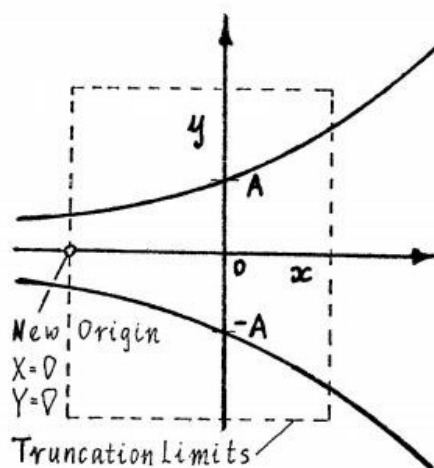
Gambar 2. Antena Vivaldi Milik Gibson pada Tahun 1979 Frekuensi Kerja 8ghz-40ghz

Pada penelitian ini, perancangan *taper slot* meliputi perancangan panjang runcing dan juga nilai *tapered rate*. Dengan menjumlahkan *Tapered Length*, panjang *Slot Line*, *Backwall Offset* akan menghasilkan total panjang rancangan antena Vivaldi (**Erdogan, 2009**).

Pembuatan bidang lancip antena vivaldi berdasarkan fungsi eksponensial pada rumus,

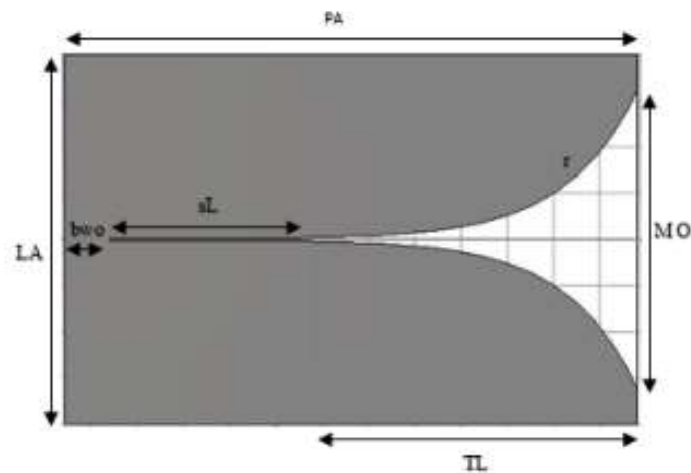
$$u = \pm s \times \exp^{(r \times t)} \quad (1)$$

u dan t menunjukkan titik dimensi bidang lancip pada antena vivaldi. s menunjukkan titik terendah dari bidang lancip. Gambar 3 menunjukkan bagaimana dua fungsi eksponensial (masing masing dengan A dan $-A$) membentuk *tapered slot*.



Gambar 3. Tapered Slot Dibangun Oleh Dua Fungsi Eksponensial

Tingkat kemiringan *taper slot* antena Vivaldi sangat berpengaruh terhadap *gain*, *beamwidth* dan *bandwidth* dari TSA (**Rajaraman, 1999**). Gambar 4 menunjukkan tampak depan dan parameter dimensi antena Vivaldi.



Gambar 4. Tampak Depan dan Parameter Dimensi Antena Vivaldi

keterangan:

PA : Panjang antena

LA : Lebar Antena

Bwo : *Backwall Offset*

TL : *Tapered Length*

MO : *Mouth Opening*

r : *Tapered Rate*

sL : *Slotline Length*

2.2 Perancangan desain antena

Pada tahap perancangan desain antena Vivaldi ini, parameter dimensi antena ditentukan berdasarkan perhitungan beberapa parameter dimensi antena Vivaldi. Parameter parameter tersebut adalah panjang antena, lebar antena, *tapered length*, *tapered rate*, panjang *slotline*, lebar *slotline*, panjang *stub* dan panjang saluran mikrostip.

Pada (**Erdogan, 2009**) dijelaskan bahwa panjang dimensi antena dapat sama dengan atau lebih besar dari panjang gelombang untuk frekuensi kerja terendah dan lebar antena dapat kerjalebih besar sama dengan setengah panjang gelombang pada frekuensi terendah. 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 (2) dan Persamaan (3).

$$PA \approx \frac{c}{f_1 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

$$LA \approx \frac{1}{2} \times \frac{c}{f_1 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

dimana c adalah kecepatan cahaya, f_1 adalah frekuensi kerja terendah dan ϵ_r adalah permitivitas relatif.

Untuk menghitung *tapered length* (TL) antena, dapat digunakan Persamaan (4) yang dijelaskan pada (**Shan, Xu, & Lin, 2017**) bahwa nilai *tapered length* (TL) sebesar setengah panjang gelombang memberikan efisiensi antena yang baik. Sementara *tapered rate* didapat dari rumus eksponensial yang pada penelitian kali ini dilambangkan dengan r . Semakin besar nilai r semakin terbuka juga bidang lancip. Nilai r mempengaruhi nilai dari *mouth opening*

antena Vivaldi. Untuk meningkatkan efisiensi radiasi antenna, nilai *mouth opening* yang disarankan adalah sebesar setengah panjang gelombang (**Erdogan, 2009**), dan *bandwidth* antenna akan meningkat jika nilai *mouth opening* diperbesar. Maka nilai *mouth opening* dipilih sebesar setengah panjang gelombang dari frekuensi terendah. Formula untuk menghitung *tapered rate* (r) antenna ditunjukkan oleh Persamaan (5)

$$TL \approx \frac{1}{2} \times \frac{c}{f_1 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

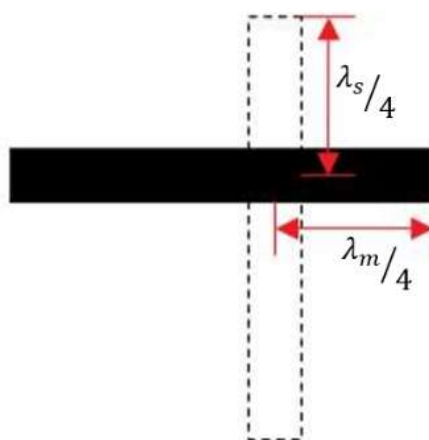
$$\pm \frac{MO}{2} = \pm \frac{s}{2} \times \exp^{(r \times TL)} \quad (5)$$

Nilai dari panjang *slotline* dapat diketahui dari selisih panjang antenna 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) antenna dan lebar *slotline* (s) antenna berturut – turut ditunjukkan oleh Persamaan (6) dan Persamaan (7) (**Yin, Wang, & Zhao, 2016**)

$$sL = PA - bwo - TL \quad (6)$$

$$s \approx \frac{c}{f_2 \sqrt{\epsilon_r}} \times 2\% \quad (7)$$

Stub adalah panjang material yang besarnya seperempat panjang gelombang. *Stub* terdiri dari panjang *stub slotline* dan panjang *stub stripline* atau mikrostrip (**Rajaraman, 1999**).



Gambar 5. Panjang Stub Slotline

Gambar 5 menunjukkan panjang *stub slotline*, λ_s , yang nilainya adalah seperempat panjang gelombang dan panjang *stub* mikrostrip, λ_m , yang nilainya adalah seperempat panjang gelombang. Formula untuk menghitung panjang *stub* ($stubL$) ditunjukkan oleh Persamaan (8)

$$stubL = 0.25 \times \frac{c}{f_c \sqrt{\epsilon_r}} \quad (8)$$

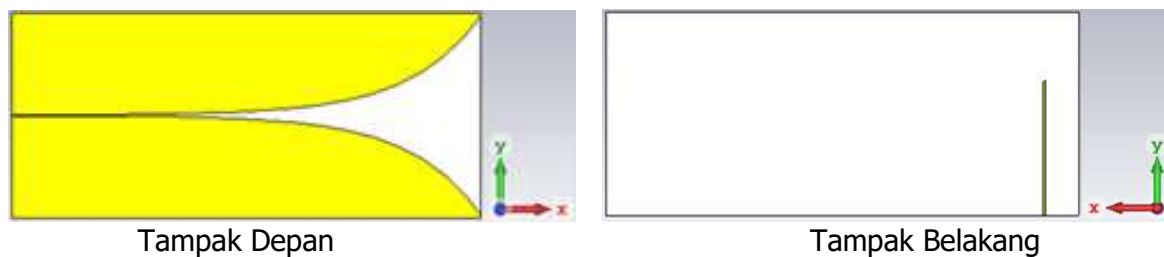
dimana f_c adalah frekuensi tengah dari frekuensi kerja antenna.

Parameter dimensi antenna Vivaldi berdasarkan hasil perhitungan dirangkum dalam Tabel 1 dimana parameter tersebut ditentukan berdasarkan perhitungan dan studi literatur.

Tabel 1. Parameter awal dimensi antena Vivaldi

Parameter	Lambang	Nilai
<i>Tapered length</i>	TL	75 mm
<i>Tapered rate</i>	r	0,0555
<i>Mouth opening</i>	MO	73,22 mm
Panjang stub	$stubL$	24,1 mm
Panjang slotline	sL	74 mm
Lebar slotline	s	1,14 mm
Panjang antena	PA	150 mm
Lebar antena	LA	75 mm
Tebal cooper	-	0,035 mm
Tebal substrat	H	1,6 mm
<i>Backwall offset</i>	Bwo	1 mm
Lebar mikrostrip	W	3,1 mm

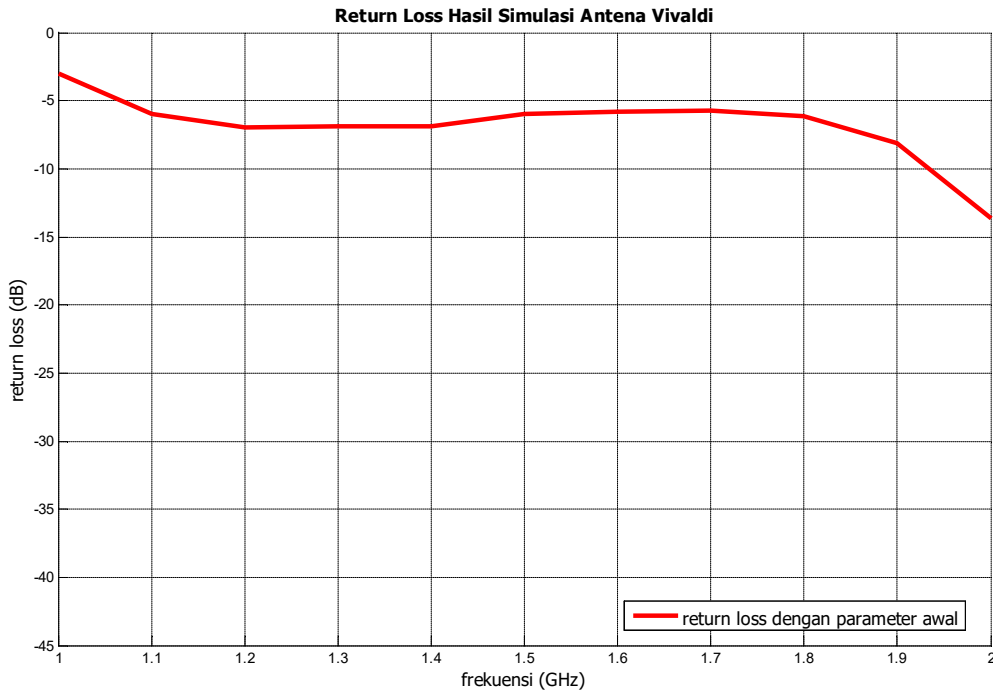
Langkah berikutnya adalah menyimulasikan antena dengan parameter seperti yang dituliskan pada Tabel 1 menggunakan perangkat lunak simulasi antena dengan elemen substrat yang digunakan adalah material *epoxy* (FR4) yang memiliki konstanta dielektrik 4,4 dan tebal 1,6 mm. Model antena Vivaldi yang akan disimulasikan ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6. Antena Vivaldi yang akan Disimulasikan dengan Parameter Awal

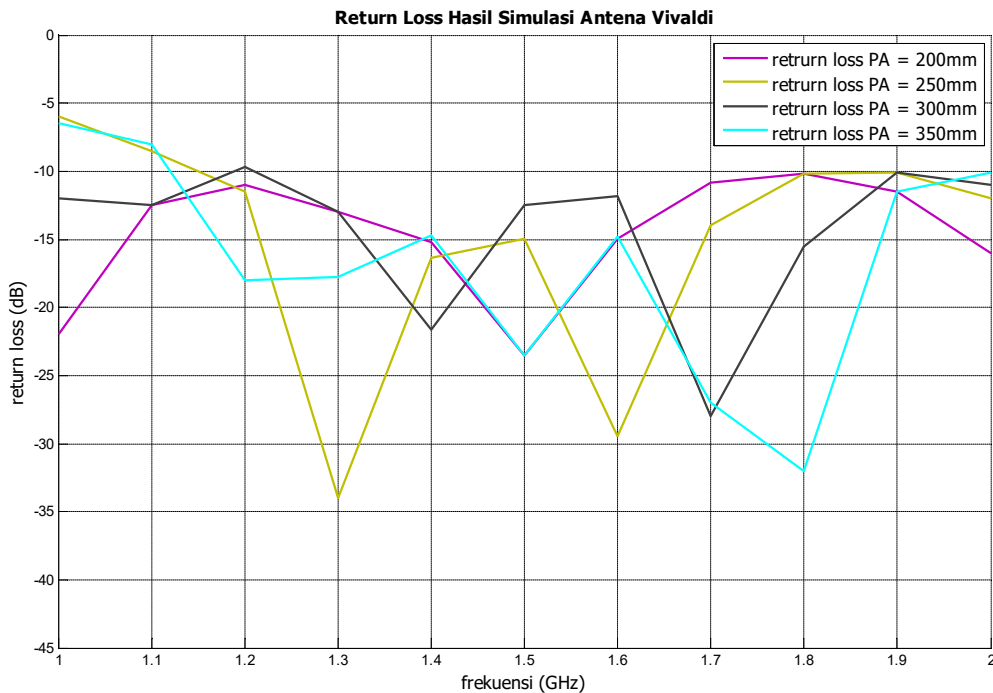
3. HASIL DAN DISKUSI

Proses simulasi akan menghasilkan nilai-nilai parameter performansi antena yang dirancang sehingga pada saat proses fabrikasi performa antena sudah dapat diketahui kemampuannya. Untuk mendapatkan frekuensi kerja sesuai spesifikasi yang diinginkan, maka nilai *return loss* pada rentang frekuensi 1 GHz – 2 GHz haruslah bernilai dibawah -10 dB. Terlihat pada Gambar 7, nilai *return loss* yang didapatkan belum sesuai dengan yang diharapkan. Untuk mendapatkan hasil yang diharapkan, parameter yang terdapat pada Tabel 1 kemudian dioptimasi. Metode optimasi yang dilakukan adalah mengubah beberapa parameter, yaitu panjang antena, lebar antena dan *tapered slot* (*tapered length* dan *tapered rate*), untuk melihat seperti apa perubahan ketiga parameter tersebut terhadap frekuensi kerja antena.



Gambar 7. Return Loss Hasil Simulasi Antena Vivaldi dengan Parameter Awal (Tabel 1)

Proses optimasi dilakukan dengan mengubah secara bertahap satu parameter dengan mempertahankan nilai parameter yang lain. Untuk proses pertama, dilakukan dengan mengubah parameter panjang antena. Optimasi panjang antena dilakukan dengan melakukan penambahan nilai parameter panjang antena dengan catatan bahwa perubahan nilai ini tidak mempengaruhi nilai *tapered length* dan panjang *stub slotline* walaupun panjang *slotline* ikut berubah. Perubahan parameter panjang antena diubah bertahap yaitu nilainya menjadi 200 mm, 250 mm, 300 mm, dan 350 mm. Gambar 8 menunjukkan grafik perbandingan nilai *return loss* terhadap beberapa nilai parameter panjang antena.



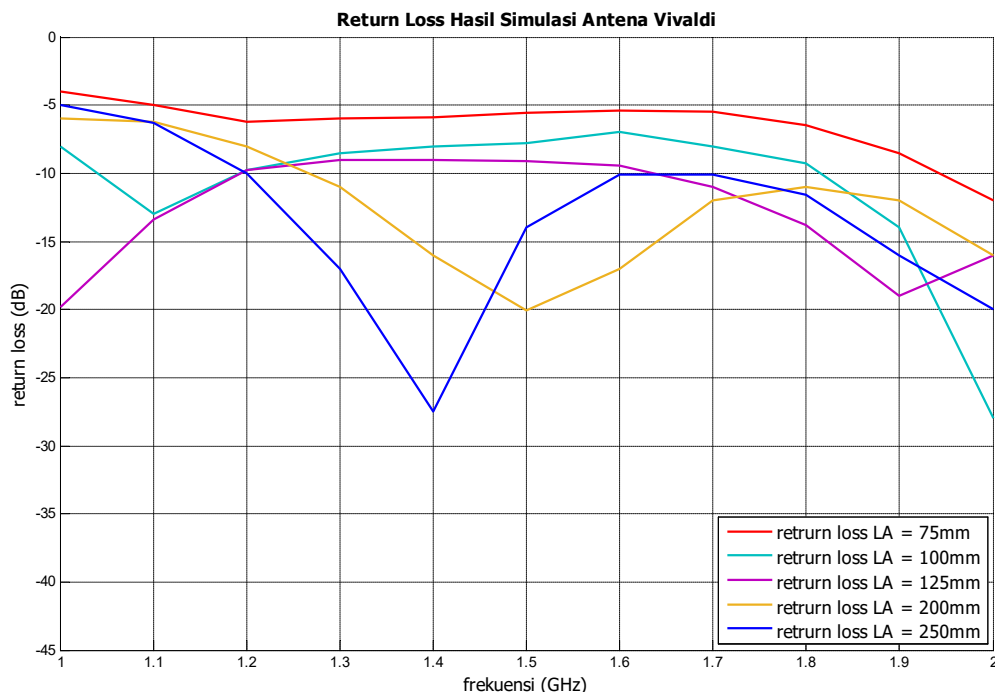
Gambar 8. Grafik Return Loss Terhadap Perubahan Bertahap Nilai Panjang Antena, PA

Gambar 8 di atas memperlihatkan bahwa perubahan nilai panjang antena berpengaruh terhadap nilai *return loss*. Ketika panjang antena diperbesar maka nilai *return loss* pada rentang 1 – 2 GHz secara umum menjadi mengecil walaupun tidak signifikan. Dengan menambah panjang antena ini dapat menurunkan titik puncak *return loss* yang hampir menyentuh -10dB. Oleh karenanya, melihat hasil simulasi dengan penambahan nilai panjang antena, maka panjang antena yang dipilih adalah 350 mm.

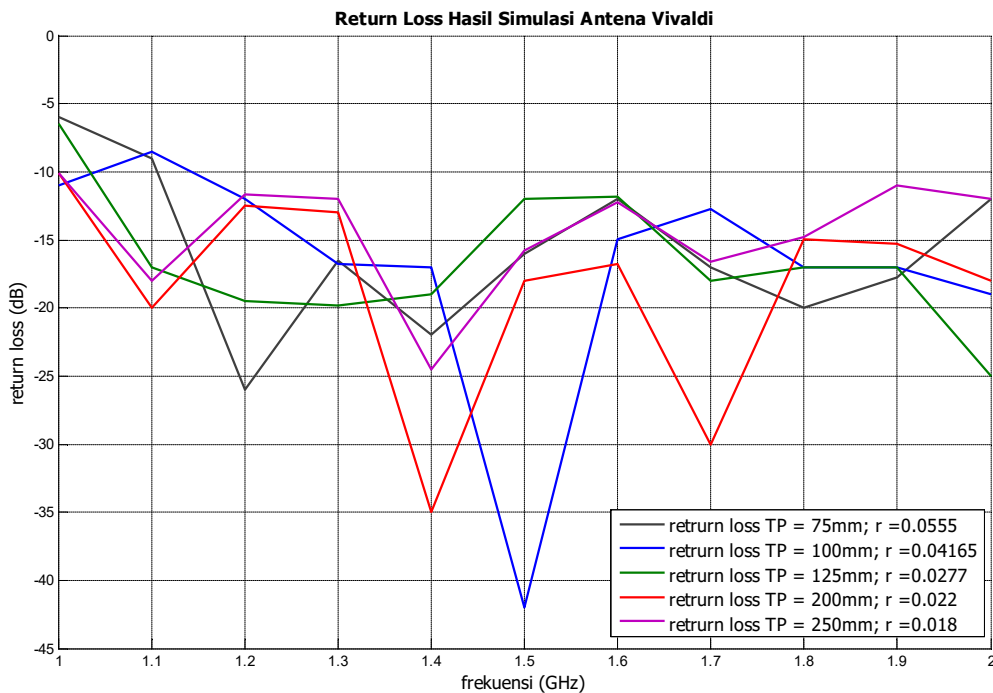
Proses optimasi yang kedua adalah dengan melakukan perubahan bertahap terhadap nilai parameter lebar antena. Perubahan nilai lebar antena ini berpengaruh terhadap panjang saluran mikrostrip namun tidak mempengaruhi panjang *stub*. Perubahan nilai parameter lebar antena dilakukan secara bertahap yaitu 75 mm, 100 mm, 125 mm, 200 mm dan 250 mm. Gambar 9 menunjukkan grafik perbandingan nilai *return loss* terhadap beberapa nilai parameter lebar antena.

Terlihat pada Gambar 9, hasil simulasi penambahan nilai parameter lebar antena membuat nilai *return loss* menjadi semakin rendah pada rentang frekuensi yang diinginkan. Melihat hasil simulasi tersebut, maka optimasi lebar antena dilakukan dengan memperlebar dimensi antena mencapai nilai 300 mm.

Proses optimasi berikutnya adalah dengan melakukan perubahan bertahap terhadap nilai tapered slot. Optimasi nilai parameter *tapered slot* ini dilakukan dengan mengubah nilai *tapered length* dan nilai *tapered rate*. Hal tersebut dilakukan agar bentuk antena tetap proporsional dengan konsep antena Vivaldi yang dibuat oleh Gibson. Gambar 10 menunjukkan grafik perbandingan nilai *return loss* terhadap beberapa nilai *tapered slot*.



Gambar 9. Grafik *Return Loss* Terhadap Perubahan Bertahap Nilai Lebar Antena, *LA*



Gambar 10. Grafik *Return Loss* Terhadap Perubahan Nilai *Tapered Slot, TL*

Gambar 10 menunjukkan hasil simulasi *return loss* yang dihasilkan oleh perubahan nilai *tapered slot*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pengubahan nilai *tapered length* (*mouth opening, tapered length* dan *tapered rate*) menjadi lebih besar membuat nilai *return loss* semakin mengecil. Oleh karenanya, nilai *tapered slot* yang dipilih adalah 250 mm dan dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Tapered Slot Setelah Proses Optimasi

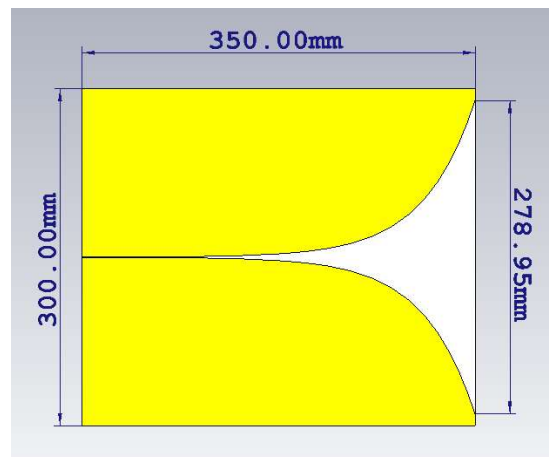
Parameter	Nilai
<i>Tapered length</i>	250 mm
<i>Tapered rate</i>	0.022
<i>Mouth opening</i>	278, 95 mm

Tabel 3. Parameter Dimensi Antena Vivaldi Setelah Optimasi

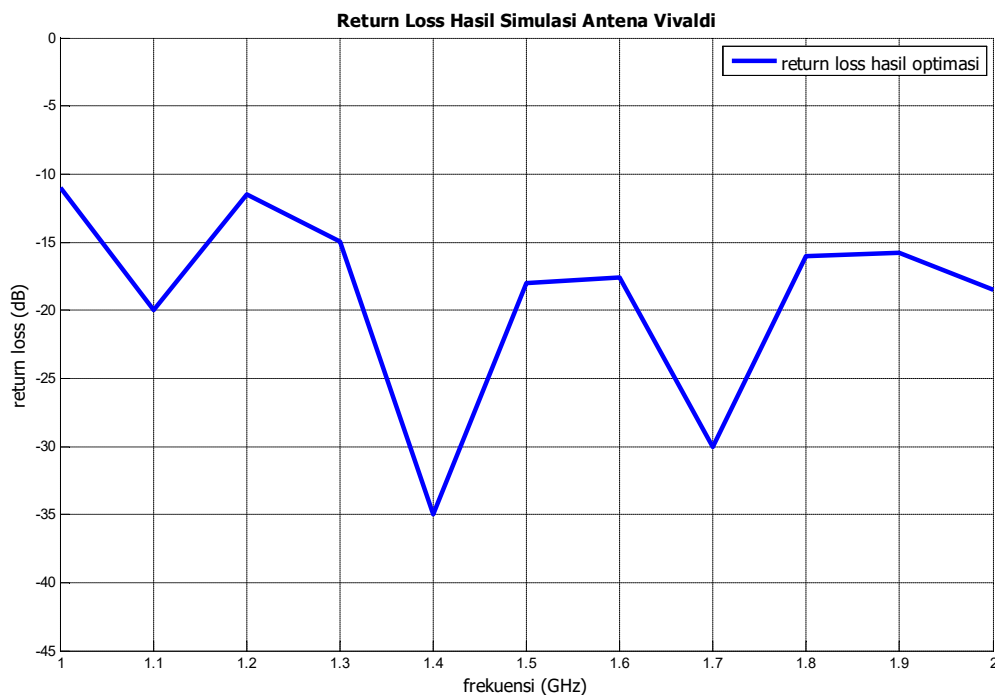
Parameter	Lambang	Nilai awal	Nilai setelah optimasi
Tapered Length	<i>TL</i>	75 mm	250 mm
Tapered Rate	<i>r</i>	0,0555	0,022
Mouth Opening	<i>MO</i>	73,22 mm	278, 95 mm
Panjang stub	<i>stubL</i>	24,1 mm	24,1 mm
Panjang slotline	<i>sL</i>	74 mm	99 mm
Lebar slotline	<i>s</i>	1,14 mm	1,14 mm
Panjang Antena	<i>PA</i>	150 mm	350 mm
Lebar Antena	<i>LA</i>	75 mm	300 mm
Tebal cooper	-	0,035 mm	0,035 mm
Tebal Substrat	<i>H</i>	1,6 mm	1,6 mm
Backwall offset	<i>Bwo</i>	1 mm	1 mm
Lebar mikrostrip	<i>W</i>	3,1 mm	3 mm

Perancangan dan Optimasi Antena Vivaldi pada Sistem Radar Penembus Permukaan (*Ground Penetrating Radar*)

Setelah proses optimasi dilakukan dengan mengubah bertahap nilai parameter panjang antenna, lebar antenna dan nilai *tapered slot*, maka dilakukan simulasi dengan nilai parameter antenna terpilih. Tabel 3 dan Gambar 11 berturut-turut menunjukkan perbandingan parameter antenna Vivaldi sebelum dan setelah proses optimasi, dan ukuran desain antenna Vivaldi setelah optimasi.



Gambar 11. Desain Antena Vivaldi Hasil Optimasi



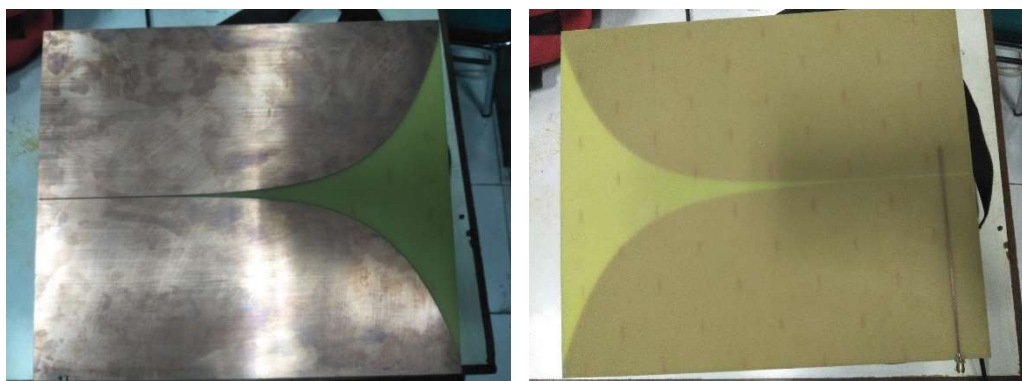
Gambar 12. Grafik Return Loss Antena Vivaldi Setelah Optimasi

Setelah dilakukan optimasi pada tiga parameter dimensi antenna vivaldi yaitu panjang antenna, lebar antenna dan *tapered slot* setiap parameter memiliki pengaruh yang berbeda beda terhadap parameter *return loss*. Tabel 4 menjelaskan rangkuman dari hasil perubahan parameter antenna Vivaldi.

Tabel 4. Analisis Optimasi Parameter Dimensi Antena Vivaldi

Parameter	Analisis
Panjang antena	Pada saat nilai panjang antena diperbesar, tidak terlihat perubahan grafik <i>return loss</i> yang signifikan terhadap rentang frekuensi kerja antena Vivaldi. Tetapi, dengan nilai panjang antena yang lebih besar dari lebar antena ini bertujuan agar antena vivaldi yang dibuat tetap memiliki pola radiasi yang menjadi ciri khas dari antena vivaldi.
Lebar antena	Pada saat nilai lebar antena diperbesar, nilai <i>return loss</i> berangsur turun. Ini mengakibatkan lebar pita memiliki nilai yang lebih besar ketika nilai parameter lebar antena diperbesar.
<i>Tapered slot</i>	Pada saat nilai <i>tapered slot</i> yang meliputi nilai <i>tapered rate</i> dan <i>tapered length</i> diperbesar nilainya, rentang frekuensi kerja antena vivaldi bergeser ke arah frekuensi yang lebih rendah sama halnya ketika nilai parameter lebar antena diubah. Ini mengakibatkan ketika <i>tapered length</i> diperbesar dan <i>tapered rate</i> diperkecil, rentang frekuensi kerja semakin lebar. Namun optimasi <i>tapered slot</i> dibatasi oleh lebar antena dan panjang antena karena letaknya yang berada didalam dimensi panjang dan lebar antena vivaldi.

Setelah simulasi dilakukan, desain antena kemudian difabrikasi dengan parameter – parameter hasil optimasi dan kemudian dilakukan pengukuran terhadap antena yang telah difabrikasi. Antena hasil fabrikasi dan hasil pengukuran berturut – turut ditunjukkan pada Gambar 13 dan Gambar 14. Dari hasil pengukuran *return loss* terhadap antena yang telah difabrikasi pada Gambar 14 memperlihatkan bahwa lebar *bandwidth* antena adalah 700 MHz. Hal tersebut kemungkinan dikarenakan terdapat perbedaan parameter antara desain antena dan antena hasil fabrikasi yang sulit untuk dihindari, seperti lebar *slotline*, lebar mikrostip dan besarnya *mouth opening*. Namun secara umum, antena yang dihasilkan sudah memenuhi kriteria karena bandwidhnya sudah cukup lebar, yaitu > 500 MHz.

**Gambar 13. Foto Antena Vivaldi yang telah Difabrikasi**

Perancangan dan Optimasi Antena Vivaldi pada Sistem Radar Penembus Permukaan (*Ground Penetrating Radar*)



Gambar 14. Hasil Pengukuran Antena yang telah Difabrikasi

4. KESIMPULAN

Hasil perancangan dan hasil simulasi menunjukkan bahwa optimasi antena Vivaldi dapat dilakukan dengan mengubah nilai dari parameter antena yaitu panjang antena, lebar antena, *tapered length* dan *tapered rate*. Perubahan nilai parameter panjang antena dapat menurunkan nilai *return loss* lebih dalam pada rentang frekuensi tertentu, namun secara umum tidak terlalu mempengaruhi perubahan frekuensi kerja antena Vivaldi. Sedangkan perubahan nilai parameter lebar antena dan *tapered slot* memberikan efek yang cukup signifikan dalam mencapai spesifikasi antena Vivaldi yang diinginkan. Penambahan nilai parameter lebar antena membuat *bandwidth* antena Vivaldi membesar ke arah frekuensi yang lebih rendah. Begitu pula dengan penambahan nilai parameter *tapered length* dan *tapered rate* juga membuat *bandwidth* antena Vivaldi membesar ke arah frekuensi yang lebih rendah.

DAFTAR RUJUKAN

- 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>
- Gazit, E. (1988). Improved design of the Vivaldi antenna. In *IEE Proceedings H Microwaves, Antennas and Propagation*. <https://doi.org/10.1049/ip-h-2.1988.0020>
- Gibson, P. J. (1979). The Vivaldi Aerial. In *1979 9th European Microwave Conference* (pp. 101–105). <https://doi.org/10.1109/EUMA.1979.332681>
- 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.
- Jol, H. M. (2008). *Ground Penetrating Radar Theory and Applications*. Oxford: Elsevier Science.
- Paulet, M. V, Salceanu, A., & Neacsu, O. M. (2016). Ultrasonic radar. In *2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE)* (pp. 551–554). Iasi, Romania. <https://doi.org/10.1109/ICEPE.2016.7781400>
- Rajaraman, R. (1999). *Design Of a Wideband Vivaldi Antenna Array for the Snow Radar*. Kansas: University of Kansas.

- 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>
- Shan, J., Xu, A., & Lin, J. (2017). A parametric study of microstrip-fed Vivaldi antenna. In *2017 3rd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC)* (pp. 1099–1103). <https://doi.org/10.1109/CompComm.2017.8322713>
- Sharp, A. N., & Kyprianou, R. (2007). Vivaldi Antennas: Wideband radar antennas simulation and reality. In *2007 IET International Conference on Radar Systems* (pp. 1–5). <https://doi.org/10.1049/cp:20070607>
- Shuppert, B. (1988). Microstrip/slotline transitions: modeling and experimental investigation. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 36(8), 1272–1282. <https://doi.org/10.1109/22.3669>
- Yin, T., Wang, Y., & Zhao, M. (2016). A design of modified Vivaldi antenna BT - 2016 5th International Conference on Advanced Materials and Computer Science (ICAMCS 2016). In *5th International Conference on Advanced Materials and Computer Science (ICAMCS 2016)*. Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/icamcs-16.2016.145>