

Perancangan Antena Coplanar Vivaldi Menggunakan *Metamaterial* Dan *Corrugated Slot* Pada Frekuensi *Ultra-Wideband* (UWB)

Ade Putri Rahmadiani

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: ade.18035@mhs.unesa.ac.id

Nurhayati, Lusia Rakhmawati, Miftahur Rohman

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

Abstrak

Teknologi telekomunikasi wireless merupakan bidang yang memegang peranan penting dalam kehidupan manusia. Antena merupakan *front end* dari sistem teknologi wireless yang merupakan komponen utama dalam pengiriman dan penerimaan data. Penelitian ini membahas perancangan Antena Coplanar Vivaldi dengan menggunakan *Metamaterial* dan *Corrugated Slot* yang bekerja pada rentang frekuensi UWB yaitu 3,1 GHz hingga 10,6 GHz. Pada penelitian ini dibandingkan kinerja empat macam antena yaitu antena Coplanar Vivaldi (antena Model-A), antena Coplanar Vivaldi dengan penambahan *Corrugated Slot* (antena Model-B), antena Coplanar Vivaldi dengan penambahan *Metamaterial Superstrate* dan *Corrugated Slot* (antena Model-C) serta antena Coplanar Vivaldi dengan penambahan *Metamaterial CSRR* dan *Corrugated Slot* (antena Model-D). *Metamaterial* adalah struktur elektromagnetik yang memiliki karakteristik permeabilitas dan permitivitas negatif. Dengan adanya penambahan struktur *metamaterial* pada bagian substrat dan *corrugated slot* pada kedua sisi antena diperoleh nilai kinerja return loss terendah yaitu antena Model-C sebesar -43 dB pada frekuensi 7,1 GHz dan terjadi peningkatan gain sebesar 1,63 dB dibandingkan antena Model-A pada frekuensi 5 GHz. Penambahan struktur *metamaterial* pada antena coplanar vivaldi memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan antena lainnya, dikarenakan menghasilkan gain yang lebih tinggi di frekuensi rendah.

Kata kunci: Antena Coplanar Vivaldi, *Metamaterial*, *Corrugated Slot*, *Ultra-Wideband* (UWB).

Abstract

Wireless telecommunications technology is a field that plays an important role in human life. Antenna is the front end of the wireless technology system which is the main component in sending and receiving data. This study discusses the design of the Vivaldi Coplanar Antenna using *Metamaterial* and *Corrugated Slot* which works in the UWB frequency range from 3.1 GHz to 10.6 GHz. In this study, the performance of four types of antennas was compared, namely the Coplanar Vivaldi antenna (Model-A antenna), the Coplanar Vivaldi antenna with the addition of a *Corrugated Slot* (Antenna Model-B), the Coplanar Vivaldi antenna with the addition of *Metamaterial Superstrate* and *Corrugated Slot* (Antenna Model-C) and Coplanar Vivaldi antenna with the addition of *CSRR Metamaterial* and *Corrugated Slot* (Model-D antenna). *Metamaterials* are electromagnetic structures that have negative permeability and permittivity characteristics. With the addition of the *metamaterial* structure on the substrate and *corrugated slots* on both sides of the antenna, the lowest return loss performance value is the Model-C antenna of -43 dB at a frequency of 7.1 GHz and an increase in gain of 1.63 dB compared to the Model-A antenna. at a frequency of 5 GHz. The addition of a *metamaterial* structure to the vivaldi coplanar antenna has several advantages compared to other antennas, because it produces a higher gain at low frequencies.

Keywords: Coplanar Vivaldi Antenna, *Metamaterial*, *Corrugated Slot*, *Ultra-Wideband* (UWB).

PENDAHULUAN

Teknologi telekomunikasi wireless merupakan bidang yang memegang peranan penting dalam kehidupan manusia. Pesatnya perkembangan teknologi telekomunikasi wireless telah mendorong terciptanya berbagai perangkat telekomunikasi bergerak yang berukuran kecil dan sederhana, contohnya antena

(Firdaus dkk, 2019). Antena merupakan *front end* dari sistem teknologi wireless yang merupakan komponen utama dalam pengiriman dan penerimaan data. Berbagai macam antena telah dikembangkan untuk aplikasi pengiriman data di frekuensi *Ultra-WideBand* (UWB). Antena Vivaldi pertama kali dikemukakan oleh Gibson pada tahun 1979, dapat beroperasi karena bandwidth yang lebar dan

direktivitasnya yang tinggi (Gibson, 1979). Jenis antena ini telah dipelajari dan diterapkan secara luas karena menawarkan beberapa keuntungan seperti strukturnya yang sederhana, ringan, pita frekuensi lebar, efisiensi tinggi, dan fabrikasi yang mudah (He dkk, 2014). Beberapa Antena Vivaldi ini juga banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti GPR (Elsheakh dkk, 2014), deteksi kanker (Lazaro dkk, 2011), remote sensing, komunikasi UWB (Natarajan dkk, 2015), Microwave Imaging (Islam dkk, 2020; Zhang Haoyu, 2015; Hassan dkk, 2016; Islam dkk, 2018) serta pengembangan array karena memiliki dimensi samping yang kecil, bandwidth impedansi yang lebar, integrasi yang sederhana, pola radiasi yang sangat searah (Kahar dkk, 2015), namun memiliki gain yang rendah (Stutzman dkk, 2012; Lu dkk, 2014).

Teknologi Ultra Wide Band (UWB) dirilis pada tanggal 14 Februari 2002 oleh Federation Communications Commission (FCC) Amerika Serikat (R. Clarke, 2004). Penggunaan spektrum frekuensi UWB (3.1GHz-10.6GHz) dan pengaplikasian dalam antena telah mengalami perkembangan secara pesat (Teresa, 2022).

Dengan berkembangnya teknologi UWB dalam beberapa tahun terakhir, studi penelitian tentang Metamaterials (MTMs) juga mengalami peningkatan sangat pesat, seperti penelitian yang dilakukan oleh M. Bhaskar dan kawan-kawan pada tahun 2016. Penelitian yang dilakukan berjudul “*Gain Enhancement Of The Vivaldi Antenna With Band Notch Characteristics Using Zero-Index Metamaterial*”. Desain antena Vivaldi tapered slot UWB pada penelitian ini memiliki karakteristik band notch di WLAN /WiMAX. Selain itu, gain yang dioptimalkan menggunakan sel metamaterial indeks nol anisotropik (AZIM), diposisikan pada substrat dengan cara tertentu. Hasil simulasi menunjukkan bahwa terjadi peningkatan gain maksimum sebesar 2,6 dBi pada rentang frekuensi 5,8–8,5 GHz (Bhaskar dkk, 2016). Kemudian penelitian yang berjudul “*Compact Single-Layer Traveling-Wave Antenna Design Using Metamaterial Transmission Lines*” dilakukan oleh M. Alibakhshikenar dan kawan-kawan pada tahun 2017. Desain antena ini didasarkan pada struktur saluran transmisi metamaterial yang mengimplementasikan kapasitor interdigital dan slot spiral ganda terintegrasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa gain meningkat sebesar 4,2 dBi pada frekuensi 5GHz (Alibakhshikenari dkk, 2016). Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Saraswat dan Kuwat pada tahun 2016, berjudul “*Miniaturized slotted ground UWB antenna loaded with metamaterial for WLAN and WiMAX applications*”. Pada penelitian ini, didesain sebuah antena UWB miniaturisasi dengan metamaterial untuk aplikasi WLAN dan WiMAX. Setelah dilakukan

simulasi, didapatkan hasil gain sebesar 1,75 dBi pada rentang frekuensi 3,5-5GHz (Saraswat dkk, 2016).

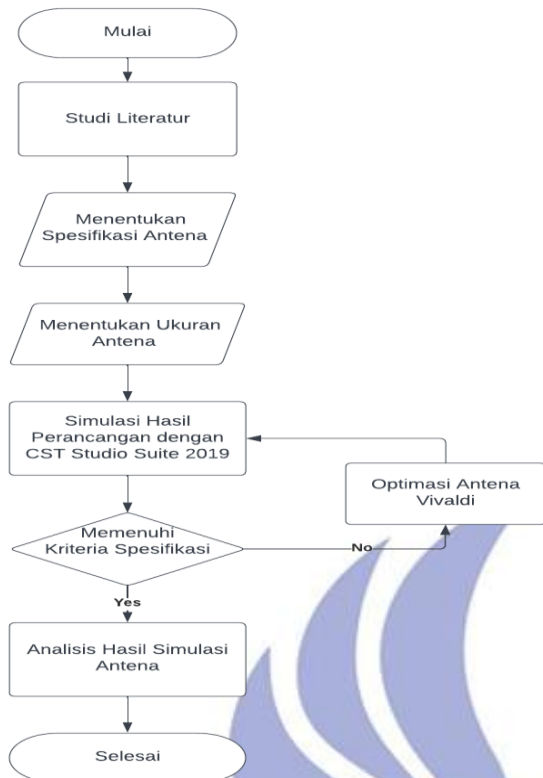
Metamaterial adalah struktur elektromagnetik (Wang dkk, 2018; Itoh, 2005) yang memiliki karakteristik permeabilitas dan permitivitas negatif. Metamaterial dapat meningkatkan gain dan bandwidth pada rancangan antena. Beberapa penelitian sebelumnya yang membuat suatu desain antena menggunakan teknik metamaterial superstrate dalam jurnal (Saleh dkk, 2015) menjelaskan bahwa dengan menggunakan metamaterial, gain dan bandwidth mengalami peningkatan. Optimasi dilakukan dengan memberi struktur corrugated di kedua sisi antena dan metamaterial pada bagian substrat untuk mencapai kinerja antena yang baik pada frekuensi Ultra Wideband (3,1–10,6 GHz). Mengingat dari kelemahan antena vivaldi bahwa memiliki gain yang rendah, maka penggunaan metamaterial dapat menjadi solusi untuk mencapai gain yang lebih tinggi pada seluruh frekuensi. Selain itu, dalam sistem telekomunikasi, peningkatan gain sangat dibutuhkan antena penerima karena menjelaskan seberapa baik antena mengubah gelombang radio yang datang dari arah tertentu menjadi energi listrik.

Berdasarkan pembahasan di atas, maka diberikan sebuah solusi untuk merancang antena dengan judul “*Perancangan Antena Coplanar Vivaldi Menggunakan Metamaterial Dan Corrugated Slot Pada Frekuensi Ultra-Wideband (UWB)*”. Pada penelitian ini dibandingkan kinerja empat macam antena yaitu antena Coplanar Vivaldi (antena Model-A), antena Coplanar Vivaldi dengan penambahan *Corrugated Slot* (antena Model-B), antena Coplanar Vivaldi dengan penambahan *Metamaterial Superstrate* dan *Corrugated Slot* (antena Model-C) serta antena Coplanar Vivaldi dengan penambahan *Metamaterial CSRR* dan *Corrugated Slot* (antena Model-D).

METODE

Rancangan Penelitian

Langkah awal dalam rancangan penelitian ini adalah studi literature dari beberapa referensi seperti jurnal, skripsi, maupun ebook. Langkah kedua yaitu menentukan spesifikasi antena. Langkah ketiga yaitu menentukan ukuran antena. Proses selanjutnya adalah melakukan simulasi hasil perancangan dengan CST Studio Suite 2019. Selanjutnya, jika hasil simulasi tersebut memenuhi kriteria spesifikasi, maka dapat melakukan analisis hasil simulasi tersebut. Sebaliknya, jika tidak memenuhi kriteria spesifikasi, maka antena tersebut akan dioptimasi agar mendapatkan hasil simulasi yang diinginkan. Diagram alir rancangan penelitian ini dijelaskan pada Gambar 1.

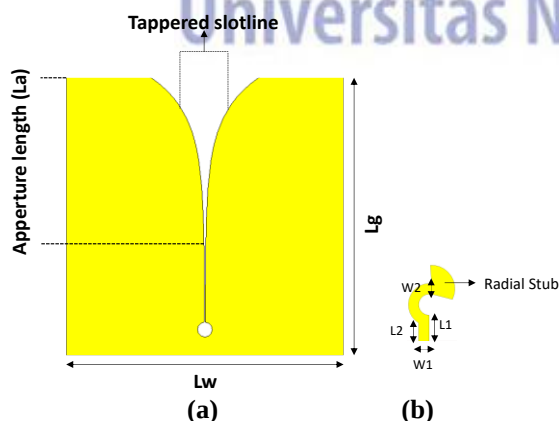


Gambar 1. Flowchart perancangan antenna Vivaldi menggunakan metamaterial dan corrugated slot.

Studi Literatur

Definisi Antena Vivaldi

Antena Vivaldi pertama kali dikemukakan oleh Gibson pada tahun 1979, dapat beroperasi karena bandwidth yang lebar dan direktivitasnya yang tinggi. Jenis antena ini telah dipelajari dan diterapkan secara luas karena menawarkan beberapa keuntungan seperti strukturnya yang sederhana, ringan, pita frekuensi lebar, dan efisiensi tinggi. Beberapa Antena Vivaldi ini juga banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti GPR, deteksi kanker, remote sensing, dan komunikasi UWB. Struktur Antena Vivaldi ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Struktur Antena Vivaldi: (a) Tampilan Depan, (b) Tampilan Belakang.

Ultra-Wideband (UWB)

Teknologi Ultra Wide Band (UWB) dirilis pada tanggal 14 Februari 2002 oleh Federation Communications Commission (FCC) Amerika Serikat. Teknologi UWB memiliki beberapa keunggulan seperti kecepatan transfer yang lebih cepat, dapat digunakan dalam streaming multimedia, dan melakukan multikoneksi secara bersamaan (Agustini dan Nurhayati, 2021). Bandwidth fraksional adalah rasio bandwidth ke frekuensi tengah. Nilai bandwidth fraksional dapat diperoleh dengan menerapkan persamaan (Krishna dkk, 2015):

$$B_f = \left[\frac{2(f_h - f_l)}{f_h + f_l} \times 100\% \right] \quad (1)$$

Keterangan:

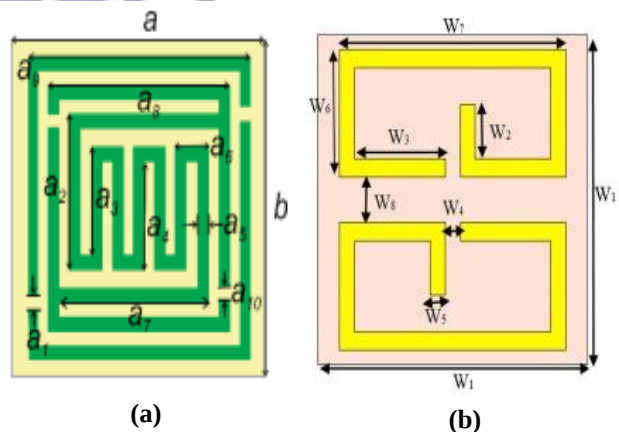
B_f = Bandwidth Fraksional

f_h = Frekuensi tertinggi (Hz)

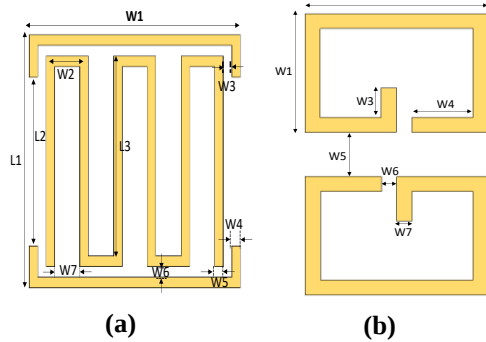
f_l = Frekuensi terendah (Hz)

Metamaterial

Metamaterial adalah struktur elektromagnetik yang memiliki karakteristik permeabilitas dan permitivitas negatif. Ada beberapa metode untuk merancang antena dengan elemen metamaterial seperti *Composite Right Left Handed (CRLH)*, *Complementary Split Ring Resonator (CSRR)*, dan *metamaterial superstrate* (Arora dkk, 2017). Metode yang digunakan dalam merancang desain antena ini adalah Complementary Split Ring Resonator (CSRR) dan metamaterial Superstrate. Teknik CSRR digunakan pada desain antena Model-D karena memiliki beberapa keuntungan, seperti memperlebar bandwith pada rancangan antena (Chouduri dkk, 2009). Beberapa referensi struktur desain menggunakan metamaterial superstrate dan CSRR ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Referensi Desain Metamaterial: (a) Metamaterial Superstrate (Sumber: Shabbir dkk, 2020), (b) Metamaterial CSRR (Sumber: Seyedsharbaty dkk, 2017).



Gambar 4. Bagian dan Ukuran Metamaterial yang diusulkan: (a) Desain 1, (b) Desain 2.

Corrugated Slot

Peningkatan gain antenna dapat diwujudkan dengan menambahkan corrugated slot pada antenna. Ada beberapa bentuk corrugated slot yaitu segitiga, lingkaran, dan persegi panjang. Lebar dan jarak antara corrugated slot dalam antenna yang dirancang diatur ke nilai yang sama untuk mengetahui perubahan gain (Oktafiani dkk, 2015).

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) adalah rasio antara amplitudo gelombang berdiri (standing wave) maksimum ($|V|_{max}$) dengan minimum ($|V|_{min}$). Kondisi terbaik adalah ketika VSWR adalah 1, yang berarti tidak memiliki refleksi ketika saluran dalam kondisi perfect match (Balanis, 2016). Perbandingan koefisien refleksi (Γ) yang dirumuskan pada persamaan di bawah ini:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (2)$$

Keterangan:

Γ = Koefisien Refleksi (dB)

Z_1 = Impedansi beban (Ω)

Z_2 = Impedansi saluran (Ω)

Rumus untuk mencari VSWR dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$s = \frac{|V|_{max}}{|V|_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (3)$$

Keterangan:

s = VSWR

$|V|_{max}$ = Maximum standing wave

$|V|_{min}$ = Minimum standing wave

Γ = Koefisien Refleksi (dB)

Gain

Jenis penguatan (gain) pada sebuah antenna dibagi menjadi dua yaitu penguatan mutlak (absolute gain)

dan penguatan relatif (relative gain). Besarnya gain dalam suatu antenna tergantung pada aplikasinya karena setiap aplikasi tertentu memiliki besar gain tertentu. Absolute gain dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini (Balanis, 2016).

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

Keterangan:

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

P_{in} = Daya total yang diterima

Return Loss

Return loss adalah parameter yang digunakan untuk menentukan rasio amplitudo gelombang pantul (V_0) dan amplitudo gelombang yang ditransmisikan (V_0+) dengan satuan decibel (dB). Besarnya return loss bervariasi tergantung dari frekuensi yang digunakan dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$RL = 20 \log_{10} |\Gamma| \quad (5)$$

Keterangan:

RL : Return Loss (dB)

Γ : Koefisien Refleksi (dB)

Teknik Analisa Data

Metode penelitian ini menggunakan metode kuantitatif. Adapun beberapa tahap yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu Tahap pengumpulan data. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari kajian pustaka dengan topik pada artikel ilmiah. Beberapa topik dalam penelitian ini meliputi Antena Vivaldi, Metamaterial, Corrugated Slot, UWB. Selanjutnya yaitu Tahap identifikasi. Tahap ini dilakukan identifikasi masalah, membuat latar belakang penelitian berdasarkan data yang relevan, selanjutnya merumuskan masalah dan tujuan penelitian. Kemudian, Tahap kriteria dan spesifikasi desain. Penentuan kriteria dan spesifikasi desain antenna digunakan untuk menentukan kinerja antenna yang diinginkan sehingga sesuai dengan frekuensi UWB. Antena yang didesain yaitu antenna Vivaldi dengan memodelkan secara simulasi menggunakan perangkat lunak. Yang terakhir, yaitu Tahap analisis data dan pembahasan. Antena yang telah dioptimasi, selanjutnya akan dianalisis dan ditarik kesimpulan dari hasil analisis tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi Antena

Penelitian antenna vivaldi berbasis metamaterial ini harus menentukan spesifikasi substrat dan patch yang akan digunakan dalam perancangan dan simulasi antenna. Pada perancangan ini menggunakan substrat

FR4 dengan ketebalan substrat 1,6 mm, ketebalan tembaga 0,035 mm dan konstanta dielektrik 4,3. Selain menentukan kriteria desain, juga menentukan spesifikasi antenna yaitu *return loss* sebesar < -10 dB, VSWR sebesar ≤ 2 , dan *gain* sebesar $\geq 2,5$ dB. Spesifikasi desain antenna vivaldi tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Desain Antena Vivaldi

Parameter	Nilai
Frekuensi	3,1 – 10,6 GHz
Konstanta Dielektrik	4,3
Tebal Substrat	1,6 mm
Return Loss	< -10 dB
VSWR	≤ 2
Gain	$\geq 2,5$ dB

Desain Antena

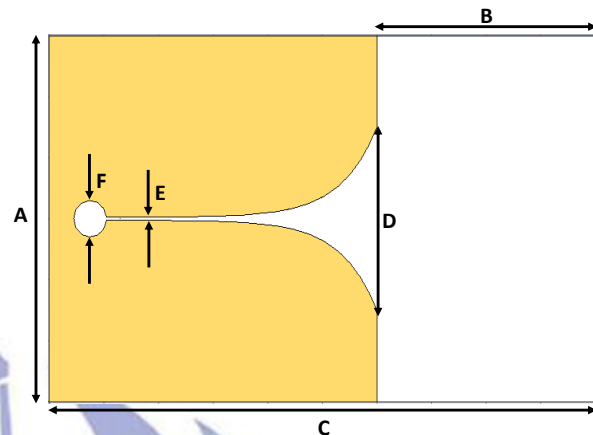
Kinerja antenna yang diinginkan agar beroperasi sesuai dengan kriteria frekuensi UWB, dapat ditentukan oleh spesifikasi desain antenna. Kriteria desain diperlukan dalam desain antenna coplanar vivaldi sebelum disimulasikan. Pada penelitian ini, terdapat empat macam desain antenna yang akan digunakan yaitu Antena Model-A, Antena Model-B, Antena Model-C dan Antena Model-D. Tabel 2 menunjukkan dimensi Antena Vivaldi menggunakan *Metamaterial* dan *Corrugated Slot*.

Tabel 2. Dimensi Antena Vivaldi Menggunakan *Metamaterial* dan *Corrugated Slot*

Simbol	Dimensi (mm)	Simbol	Dimensi (mm)
A	60	N	4
B	40	O	1,25
C	60	P	4,75
D	30	Q	-
E	0.50	R	0,25
F	3	S	0,75
G	20	T	3
H	35	U	2
I	15	V	0,5
J	1	W	1,5
K	20	X	0,75
L	6,25	Y	0,25
M	6	Z	0,25

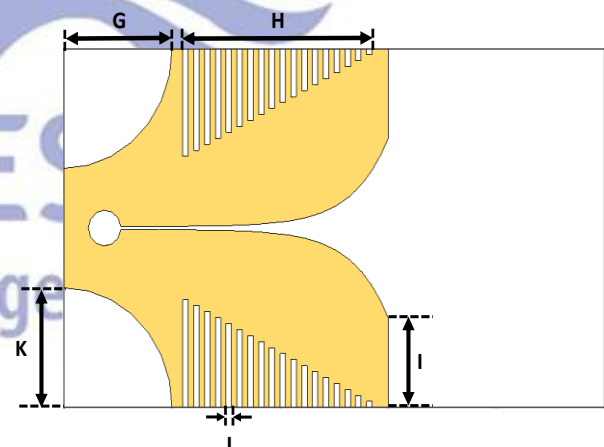
Desain antenna Vivaldi konvensional ditunjukkan pada Gambar 5. Adanya penambahan substrat sebesar 40 mm pada antenna Model-A sangat berpengaruh terhadap hasil simulasi *return loss* antenna (Balanis, 2015). Dimensi pada antenna Model-A ditunjukkan pada tabel 1. Hasil simulasi pada antenna ini menunjukkan

bahwa nilai *return loss* terendah adalah -34,8 dB pada frekuensi 9,83 GHz. Sedangkan nilai *gain* maksimal adalah 7,2 dB pada frekuensi 5 GHz.



Gambar 5. Bagian Antena Model-A.

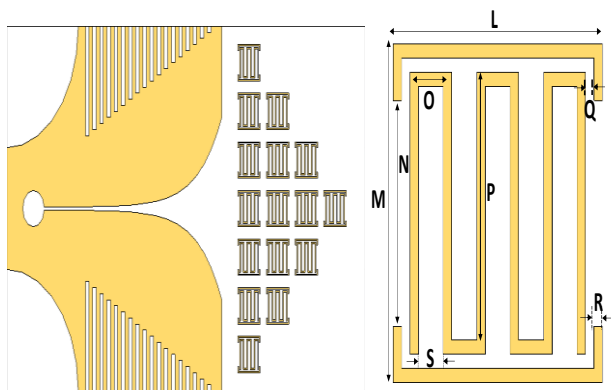
Antena Coplanar Vivaldi dengan penambahan *Corrugated Slot* (antena Model-B) ditunjukkan pada Gambar 6. Adanya penambahan struktur *corrugated slot* di kedua sisi antenna sangat berpengaruh dalam *gain* antenna dan VSWR (Balanis, 2016). Dimensi pada antenna Model-B ditunjukkan pada tabel 1. Lebar *corrugated slot* diatur ke 1mm. Hasil simulasi pada menunjukkan bahwa nilai *return loss* terendah adalah -39 dB pada frekuensi 9,73 GHz. Nilai *gain* maksimal pada antenna ini adalah 7,97 dB pada frekuensi 5 GHz. Pada frekuensi 9 GHz, antenna Model-B mengalami peningkatan *gain* sebesar 1,86 dB dibandingkan antenna Model-C.



Gambar 6. Bagian Antena Model-B.

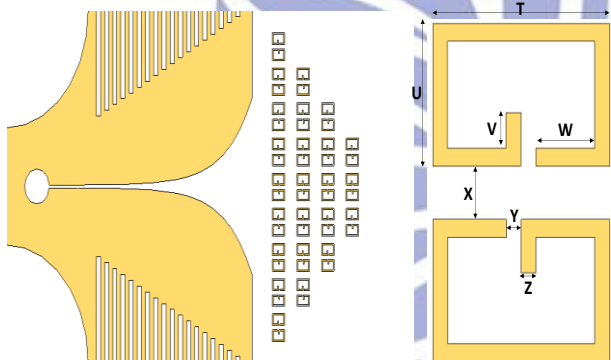
Gambar 7 menunjukkan antenna Coplanar Vivaldi dengan penambahan *Metamaterial* dan *Corrugated Slot* (antena Model-C). Desain *metamaterial* dalam antenna ini menggunakan teknik *metamaterial superstrate*. Dengan menggunakan desain *metamaterial* 1 pada antenna Model-C menghasilkan peningkatan *gain* sebesar 1,63 dB dibandingkan antenna Model-A pada frekuensi 5

GHz.



Gambar 7. Bagian Antena Model-C menggunakan Desain Metamaterial 1.

Selanjutnya, Gambar 8 juga menggunakan modifikasi penambahan *metamaterial* dan *corrugated slot*. Dimensi pada antenna Model-B ditunjukkan pada tabel 1. Teknik metamaterial yang digunakan dalam antenna ini adalah *metamaterial* CSRR. Desain *metamaterial* yang digunakan pada antenna ini berbeda dari desain sebelumnya. Pada antenna Model-D terjadi peningkatan gain sebesar 1,96 dB dibandingkan antenna Model-C pada frekuensi 7 GHz.

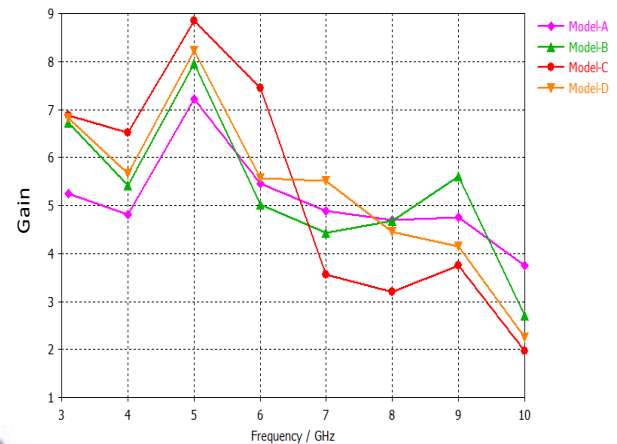


Gambar 8. Bagian Antena Model-D menggunakan Desain Metamaterial 2.

Gain

Nilai gain maksimum yang didapatkan dari hasil simulasi dan proses optimasi rancangan antenna vivaldi menggunakan desain metamaterial 1 adalah sebesar 8,85 dB pada frekuensi 5 GHz. Hasil ini sudah memenuhi kriteria yang diinginkan yaitu $\text{gain} \geq 2,5 \text{ dB}$. Pada hasil simulasi, dapat diketahui bahwa metamaterial mempengaruhi gain antenna (Balanis, 2016). Pada frekuensi 5 GHz antenna Model-C yang menggunakan desain metamaterial 1 mengalami peningkatan gain sebesar 1,63 dB dibandingkan antenna Model-A. Namun pada frekuensi 9 GHz, antenna Model-B mengalami peningkatan gain sebesar 1,86 dB dibandingkan antenna Model-C. Pada frekuensi 6,9 GHz keatas, antenna Model-B mengalami peningkatan gain.

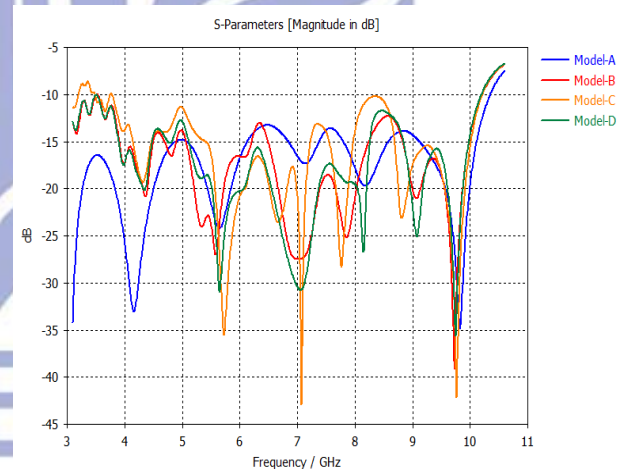
Hasil simulasi ditampilkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil Perbandingan Gain.

Return Loss

Nilai return loss terendah dari Model-A adalah -34,8 dB pada frekuensi 9,8 GHz. Untuk Model-B nilai return loss terendah adalah -39 dB pada frekuensi 9,73 GHz. Sedangkan untuk Model-C, didapatkan nilai return loss terendah yaitu -43 dB pada frekuensi 7,1 GHz. Untuk Model-D didapatkan nilai return loss -35,6 dB pada frekuensi 9,75 GHz. Hasil simulasi ditampilkan pada Gambar 10.

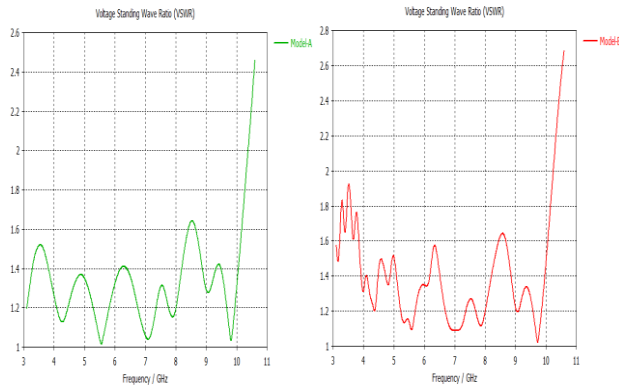


Gambar 10. Return Loss dari Antena Vivaldi Model-A, Model-B, Model-C, Model-D.

VSWR

Nilai yang ideal untuk VSWR adalah 1 dan dapat diterima hingga nilai maksimum yaitu 2. Desain antenna Model-A menghasilkan VSWR terendah yaitu 1,01 pada frekuensi 5,5525 GHz dimana sudah memenuhi kriteria untuk VSWR. Untuk desain antenna Model-B menghasilkan VSWR terendah yaitu 1,02 pada frekuensi 9,73 GHz. Antena Model-C menghasilkan VSWR terendah yaitu 1,03 pada frekuensi 7,25 GHz. Sedangkan, pada antenna Model-D menghasilkan VSWR terendah yaitu 1,03 pada frekuensi 7,25 GHz. Hasil simulasi VSWR ditampilkan pada gambar 11.

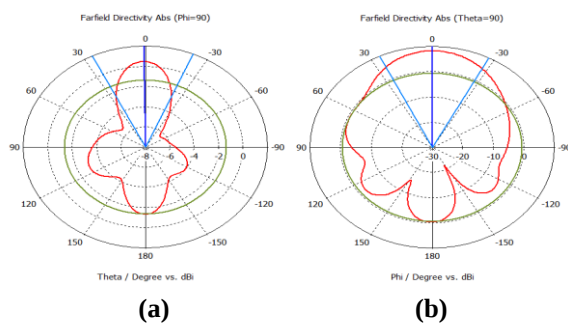
Perancangan Antena Coplanar Vivaldi Menggunakan *Metamaterial* Dan *Corrugated Slot* Pada Frekuensi *Ultra-Wideband* (UWB)



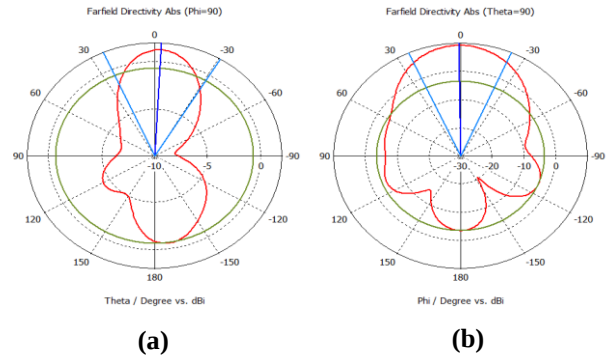
Gambar 11. VSWR dari Antena Vivaldi Model-A, Model-B, Model-C, Model-D.

Pola Radiasi Far Field

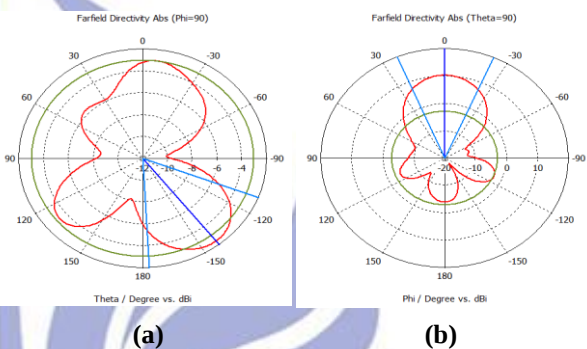
Representasi grafis dari kekuatan medan gelombang radio untuk semua arah disebut pola radiasi. Hasil simulasi menunjukkan radiasi di sisi θ dan ϕ frekuensi 5GHz. Dari hasil simulasi diperoleh performansi pola eadiasi keempat antena yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini. Untuk main lobe magnitude terbaik didapatkan pada antena Model-C sebesar 10,2 dBi dan side lobe terbaik didapatkan pada antena Model-D sebesar -12,9 dB. Hasil simulasi Farfield Antena Model-A ditampilkan pada gambar 12. Hasil simulasi Farfield Antena Model-B ditampilkan pada gambar 13. Hasil simulasi Farfield Antena Model-C ditampilkan pada gambar 14. Hasil simulasi Farfield Antena Model-D ditampilkan pada gambar 15.



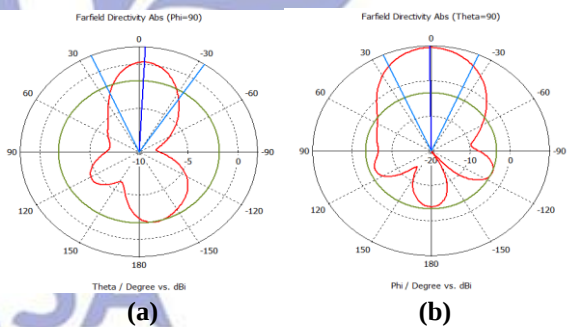
Gambar 12. Hasil Simulasi Farfield Antena Model-A pada Frekuensi 5 GHz: (a) pada sisi phi dan (b) pada sisi theta.



Gambar 13. Hasil Simulasi Farfield Antena Model- B pada Frekuensi 5 GHz: (a) pada sisi phi dan (b) pada sisi theta.



Gambar 14. Hasil Simulasi Farfield Antena Model-C pada Frekuensi 5 GHz: (a) pada sisi phi dan (b) pada sisi theta.



Gambar 15 Hasil Simulasi Farfield Antena Model-D pada Frekuensi 5 GHz: (a) pada sisi phi dan (b) pada sisi theta.

Tabel 3. Perbandingan beberapa desain antena

Antena	Return Loss terendah	Gain maksimal	Directivity	Frekuensi Kerja
Ref (Garg dkk, 2014)	-25 dB	4,651 dB	6,918 dBi	1,80 GHz
Ref (Sakli dkk, 2021)	-	(2-8) dB	-	2-18 GHz
Model-C (Proposed)	-43 dB (9,75 GHz)	8,85 dB (5 GHz)	10,2 dBi	3,1-10,6 GHz
Model-D	-35,6 dB (7,1 GHz)	8,22 dB (5 GHz)	9,48 dBi	3,1-10,6 GHz

Dari hasil simulasi, antena berbasis metamaterial memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan antena lain, dikarenakan menghasilkan gain yang lebih tinggi pada frekuensi rendah.

PENUTUP

Simpulan

Pada artikel ini telah dilakukan perancangan antena Vivaldi menggunakan metamaterial dan corrugated slot pada frekuensi ultra wideband. Simulasi 4 antena Vivaldi yaitu antena Model-A, Model-B, Model-C, dan Model-D menghasilkan kinerja gain, return loss, VSWR yang berbeda. Dengan adanya penambahan struktur metamaterial dan corrugated slot pada antena Model-C, diperoleh hasil simulasi dengan nilai return loss terendah sebesar -43 dB pada frekuensi 7,1 GHz, nilai VSWR kurang dari 2 dan terjadi peningkatan gain sebesar 1,63 dB dibandingkan antena Model-A pada frekuensi 5 GHz. Antena berbasis metamaterial memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan antena lainnya, dikarenakan menghasilkan gain yang lebih tinggi di frekuensi rendah. Namun, antena ini juga memiliki kelemahan yaitu tidak dapat meningkatkan gain pada frekuensi tinggi. Dengan adanya kelemahan yang ditunjukkan, dapat digunakan untuk penelitian berikutnya dalam hal pengembangan penelitian.

Saran

Berdasarkan pembahasan dan analisa kinerja antena vivaldi dengan menambahkan struktur metamaterial dan corrugated slot, maka dapat diberikan beberapa saran, yaitu dengan mengubah ukuran dan menambahkan metode metamaterial lain agar dapat meningkatkan gain pada seluruh frekuensi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini Rizki, dan Nurhayati. 2021. *Improvement Of Coplanar Vivaldi Antenna Radiation Patterns With Fractal Structure For Ultra-Wideband Applications*. INAJEEE (Indonesian Journal of Electrical and Electronics Engineering), vol 4, no. 2, pp. 44-50.
- Alibakhshikenari Mohammad, Virdee Bal Singh, dan Limiti Ernesto. 2017. *Compact Single-Layer Traveling-Wave Antenna Design Using Metamaterial Transmission Lines*. Radio Science, vol. 52, no. 12, pp. 1510-1521.
- Arora Chirag, Pattnaik Shyam S., dan Baral Rudra N. 2017. *SRR superstrate for gain and bandwidth enhancement of microstrip patch antenna array*. Progress In Electromagnetics Research B, vol. 76, pp. 73-85.
- Balanis, Constantine A. 2016. *Antena Theory : Analysis and Design Fourth Edition*. USA: John Willey and Sons.
- Bhaskar Manoj, Johari Esha, Akhter Zubair, dan Akhtar, M. J. 2016. *Gain enhancement of the Vivaldi antenna with band notch characteristics using zero-index metamaterial*. Microwave and Optical Technology Letters, vol. 58, no. 1, pp. 233-238.
- Chouduri Bhadra S.R., Poddar D.R., Ghatak R., dan Mishra R.K. 2009. *Modulating Properties of a Microstrip Patch Antenna Using Complementary Split Ring Resonator*. IEEE International Workshop on Antenna Technology.
- Elsheakh Dalia Mohammed Nashaat dan Abdallah Esmat. 2014. *Compact shape of vivaldi antenna for water detection using Ground penetrating radar*. Microwave and Optical Technology Letters, vol. 56, no. 8, pp. 1801-1809.
- Firdaus Johaness dan Rahayu Yusnita. 2019. *Perancangan Antena Metamaterial Superstrate Untuk Meningkatkan Gain Dan Bandwidth Pada Mimo Microstrip Patch Array Untuk Jaringan 5G*. JOM FT (Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik) Universitas Riau, vol. 6, pp. 1-10.
- Garg Anshuman dan Goen Anjana. 2014. *Rectangular Microstrip Patch Antenna Interconnected with Symmetrical Cut Hexagonal Shaped between Horizontal Lines Meta Material Structure Enhancement Bandwidth at 1.80 GHz*. Journal of Microwave Engineering & Technologies, vol. 1, no. 3.
- Gibson, P.J. 1979. *The Vivaldi aerial*. In 1979 9th European Microwave Conference. pp.101-105. IEEE.
- Hassan Nouralhuda A., Mohamed Moustafa M., dan Tayel, Mazher B. 2016. *Basic evaluation of antennas used in microwave imaging for breast cancer detection*. Comput. Sci. Inf. Technol, vol. 55, pp. 55-63.
- He Shan Hong, Shan Wei, Fan Chong, Mo Zhi Chao, Yang Fu Hui, dan Chen Jun Hua. 2014. *An improved Vivaldi antenna for vehicular wireless communication systems*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 13, pp. 1505-1508.
- Islam Md. Tarikul, Kibria Salehin, Samsuzzaman, Md., Mat Kamarulzaman, dan Islam Mohammad Tariqul. 2018. *A modified side feeding directional antenna for microwave imaging applications*. In 2018 IEEE International RF and Microwave Conference (RFM) pp. 270-273.
- Islam Md. Tarikul, Islam Mohammad Tariqul, Samsuzzaman Md., Arshad Haslina, dan Rmili

- Hatem. 2020. *Metamaterial loaded nine high gain vivaldi antennas array for microwave breast imaging application*. IEEE Access, vol. 8, pp. 227678-227689.
- Itoh Tatsuo, dan Caloz Christophe. 2005. *Electromagnetic metamaterials: transmission line theory and microwave applications*. John Wiley & Sons.
- Kahar Manisha, Mandal Joydeb, dan Mandal Mrinal Kanti. 2015. *A compact Vivaldi antenna with microstrip feed line for the 2–18GHz ultra-wideband applications*. In 2015 IEEE Applied Electromagnetics Conference (AEMC). pp. 1-2. IEEE.
- Krishna R.V.S Ram, dan Kumar Raj. 2015. *A dual-polarized square-ring slot antenna for UWB, imaging, and radar applications*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 15, 195-198.
- Lazaro Antonio, Villarino R., dan Girbau D. 2011. *Design of tapered slot Vivaldi antenna for UWB breast cancer detection*. Microwave and Optical Technology Letters, vol. 53 no. 3, pp. 639-643.
- Lu Zhong Liang, Yang Xue Xia, dan Tan Guan Nan. 2014. *A wideband printed tapered-slot antenna with pattern reconfigurability*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 13, pp. 1613-1616.
- Natarajan Rajesh, George Jithila V., Kanagasabai Malathi, dan Shrivastav Arun Kumar. 2015. *A compact antipodal Vivaldi antenna for UWB applications*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 14, pp. 1557-1560.
- Oktafiani, F., Amrullah, Y. S., Saputera, Y. P., Wahyu, Y., dan Wijayanto, Y. N. 2015. *Analysis of corrugated edge variations on balanced antipodal Vivaldi antennas*. In 2015 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics and Telecommunications (ICRAMET). pp. 1-5.
- R. Clarke, R. Karunarathne, dan C. Schrader. 2004. *Ultra-Wideband Antenna*. Technical Report, EE198B, San Jose State University.
- Sakli Hedi, Abdelhamid, C., Essid, C., dan Sakli, N. 2021. *Metamaterial-based antenna performance enhancement for MIMO system applications*. IEEE Access, vol. 9, pp. 38546-38556.
- Saleh, C. M., Bensafieddine, D., Laamari, E. M., dan Bouzouad, M. 2015. *A zero-index metamaterial single layer superstrate for patch antenna gain enhancement*. International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering, vol. 128, no. 2B, pp. 307-310.
- Saraswat Ritesh Kumar, dan Kumar Mithilesh. 2016. *Miniaturized slotted ground UWB antenna loaded with metamaterial for WLAN and WiMAX applications*. Progress In Electromagnetics Research B, vol. 65, pp. 65-80.
- Seyedsharbaty Mir Mohsen, dan Sadeghzadeh Ramazan Ali. 2017. *Antenna gain enhancement by using metamaterial radome at THz band with reconfigurable characteristics based on graphene load*. Optical and Quantum Electronics, vol. 49, no. 6, pp. 1-13.
- Stutzman Warren L., dan Thiele Gary A. 2012. *Antenna theory and design*. John Wiley & Sons.
- Teresa Merlin. 2022. *Design of metamaterial based antipodal Vivaldi antenna*. Indian Journal of Radio & Space Physics (IJRSP), vol. 50, no. 2, pp. 100-104.
- Wang Fei, Duan Zhaoyun Li Shifeng, Wang Zhan Liang, dan Gong Yu Bin. 2018. *Compact UWB MIMO antenna with metamaterial-inspired isolator*. Progress In Electromagnetics Research C, vol. 84, pp. 61-74.
- Zhang Haoyu. 2015. *Microwave imaging for ultra-wideband antenna based cancer detection*. Thesis of Degree of Doctor of Philosophy of The University of Edinburgh.