

Rekonfigurasi Antena *Folded Dipole* Mikrostrip Berbasis Laser Merah dan *Microwave Multifunctional Analyzer* (MMA)

Aslam Chitami Priawan Siregar^{1*}, Yono Hadi Pramono², Gatut Yudoyono², dan Ni'matut Tamimah³

¹ Program Studi Fisika, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur
Jl. Rungkut Madya, Kec. Gunung Anyar, Surabaya, Jawa Timur

² Program Studi Ilmu Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur

³ Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur

* E-mail: aslam_chitami.fisika@upnjatim.ac.id

Abstrak

Dengan banyaknya penggunaan alat komunikasi di berbagai daerah, maka diperlukan antena yang dapat memiliki sinyal yang stabil agar informasi yang dikirim dapat diterima dengan baik. Pada penelitian ini, dibuat antena folded dipole mikrostrip dengan rentang frekuensi pada tingkat SHF dengan menggunakan metode rekonfigurasi berupa sinar laser merah 650 nm dan MMA. Untuk desain awal, antena folded dipole mikrostrip dibuat melalui simulasi *software* CST dengan frekuensi kerja 9 GHz. Berdasarkan hasil pengukuran, antena tanpa resonator menunjukkan frekuensi kerja 13,77 GHz saat laser off dan 3,15 GHz saat laser on. Dengan resonator, frekuensi kerja berubah mendekati hasil simulasi awal yaitu dari 15,75 GHz saat laser off dan 7,02 GHz saat laser on. Sedangkan untuk nilai return loss menjadi lebih besar ketika dipasang resonator yaitu untuk antena tanpa resonator menunjukkan nilai -33 dB saat laser off dan -34,15 dB saat laser on. Dengan resonator, nilai return loss berubah dari -21,88 dB saat laser off dan -26,61 dB saat laser on. Oleh karena itu, metode ini bisa diterapkan untuk penguat sinyal outdoor pada WiFi 5 GHz dan untuk sensor blind spot pada radar kendaraan.

Kata kunci: Antena, *Folded Dipole*, Frekuensi, Mikrostrip, Resonator.

Abstract

With the increasing use of communication devices across various regions, antennas with stable signal performance are essential to ensure reliable information transmission. In this study, a microstrip folded-dipole antenna operating in the SHF band was developed using a reconfiguration mechanism based on a 650-nm red laser and metamaterial absorber (MMA). The initial antenna structure was designed and simulated in CST software with a target operating frequency of 9 GHz. Experimental results show that the antenna without a resonator exhibits an operating frequency of 13.77 GHz when the laser is off and 3.15 GHz when the laser is on. When integrated with the resonator, the operating frequencies shift closer to the simulation results, ranging from 15.75 GHz (laser off) to 7.02 GHz (laser on). The return-loss performance also improves with the implementation of the resonator. Without the resonator, the antenna achieves -33 dB return loss in laser-off mode and -34.15 dB in laser-on mode. With the resonator, the return loss values are -21.88 dB (laser off) and -26.61 dB (laser on). These findings indicate that the proposed configuration technique is applicable for outdoor Wi-Fi signal enhancement in the 5 GHz band and as a blind-spot sensing element for automotive radar systems.

Keywords: Antenna, *Folded Dipole*, Frequency, Microstrip, Resonator.

PENDAHULUAN

Penggunaan antena sangat diperlukan dalam berbagai macam alat elektronik seperti pada radio, televisi, *modem*, *handphone*, *router* Wi-Fi, dan berbagai macam alat nirkabel lainnya (H. Hadiwiyatno dkk., 2024). Antena dapat menerima dan memancarkan gelombang elektromagnetik, yang bisa membawa informasi seperti pada sinyal video, audio, dan data (S. W. Widyanto dkk., 2019).

Dengan banyaknya penggunaan antena di berbagai daerah, maka diperlukan sinyal yang stabil agar informasi yang dikirim dapat diterima dengan baik. Oleh karena itu, diperlukan metode rekonfigurasi pada antena agar sinyal tetap stabil (A. C. P. Siregar et al., 2023). Hal ini dikarenakan masih banyak terdapat daerah yang masih memiliki sinyal gelombang elektromagnetik yang rendah di Indonesia (R. Abyakto dkk., 2024).

Pada penelitian ini, dirancang sebuah antena *folded dipole* mikrostrip dengan rentang frekuensi tinggi pada tingkat SHF (Super High Frequency) sebesar 3 – 16 GHz dengan menggunakan metode rekonfigurasi berupa sinar laser merah 650 nm dan MMA (*Microwave Multifunctional Analyzer*). Frekuensi 9 – 16 GHz dipilih karena memiliki rentang untuk sinyal 5G (A. C. P. Siregar et al., 2022). Bentuk *folded dipole* pada antena dipilih karena beberapa faktor yaitu pada antena folded dipole dapat menghasilkan frekuensi yang lebih besar daripada bentuk *dipole*, bentuk desain antena folded dipole dapat mendistribusikan arus menjadi lebih merata sehingga efisiensi radiasi meningkat dan sinyal yang dipancarkan lebih kuat, dan performa antena tidak mudah menurun sehingga menjadi lebih stabil terhadap perubahan lingkungan fisik dan pengaruh gangguan sekitar (U. K. Sania et al., 2022). Selain itu, folded dipole juga memiliki bentuk struktur rangkap yaitu terdapat dua konduktor yang dibentuk secara paralel, sehingga dapat menyebabkan antena folded dipole memiliki bandwidth yang lebih lebar dibanding dipole biasa (S. Dase, 2022). Sedangkan mikrostrip dipilih karena memiliki beberapa keunggulan dibanding jenis antena yang lainnya. Beberapa keunggulan yang

dimiliki oleh antena yang berjenis mikrostrip adalah mudah diintegrasikan dengan sirkuit elektronik lainnya, proses pembuatan yang sederhana, biaya yang murah, dan dapat dirancang sesuai bentuk dan ukuran sesuai dengan kebutuhan aplikasi tertentu (A. C. P. Siregar et al, 2023).

Untuk penggunaan laser merah 650 nm adalah dapat mengukur distribusi medan atau radiasi antena dengan presisi yang sangat tinggi, yang sulit dicapai hanya dengan metode pengukuran konvensional saja (A. C. P. Siregar et al, November 2022). Selain itu, penggunaan laser ini memungkinkan dapat mendeteksi cacat atau ketidaksempurnaan pada suatu antena dengan cara yang tidak perlu untuk merusak struktur fisiknya sehingga dapat menjaga kualitas desain antena (T. Yu et al., 2016). Sedangkan penggunaan MMA dalam pengukuran antena folded dipole mikrostrip adalah dapat mengetahui karakterisasi lengkap pada antena tersebut seperti pada aspek refleksi, transmisi, pencocokan impedansi, resonansi, bandwidth, dan efisiensi (B. Mishra et al., 2022). Selain itu, alat ini juga dapat mempermudah dan mempercepat proses desain serta validasi performa pada antena mikrostrip dalam berbagai aplikasi yang memiliki frekuensi tinggi seperti pada 5G, radar, dan komunikasi satelit (J. L. De Guzman et al., 2024). Di samping itu, penggunaan MMA juga dapat memberikan data yang sangat membantu untuk analisis dan optimasi desain (J. E. Rayas-Sánchez et al., 2021).

Selanjutnya, untuk mengurangi pengaruh *noise* atau gangguan radiasi elektromagnetik dari lingkungan disekitarnya yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran dari antena folded dipole mikrostrip, maka dirancang sebuah resonator (M. A. U. Haq et al., 2023). Resonator dibuat dari bahan logam tembaga dengan ketebalan ± 1 cm, agar pengaruh radiasi elektromagnetik dari luar tidak mudah untuk menembusnya sehingga radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh antena folded dipole mikrostrip dapat diserap secara maksimal pada antena tersebut (D. H. Sulaksono & A. C. P. Siregar, 2019). Pada resonator ini juga dapat digunakan untuk menggeser (*tune*) frekuensi kerja pada antena

agar menjadi lebih stabil. Jadi, resonator pada antenna mikrostrip dapat dikategorikan sebagai elemen tuning serta pengendali karakteristik pada frekuensi antenna (A. C. P. Siregar, 2023).

Dengan adanya metode rekonfigurasi pada penelitian ini, diharapkan dapat dibuat sebuah antenna folded dipole mikrostrip yang bisa dipasang pada alat-alat elektronik yang memiliki frekuensi tinggi sehingga alat-alat elektronik tersebut dapat memiliki sinyal yang kuat dan stabil.

METODE/EKSPERIMEN

DIAGRAM PENELITIAN

Gambar 1 adalah diagram penelitian yang menggambarkan integrasi resonator dan koneksi antenna folded dipole mikrostrip ke MMA untuk proses pengukuran. Diagram ini menunjukkan aliran sinyal dari antenna hingga ke alat MMA serta interaksi antara fotodiode, laser merah, dan resonator logam.

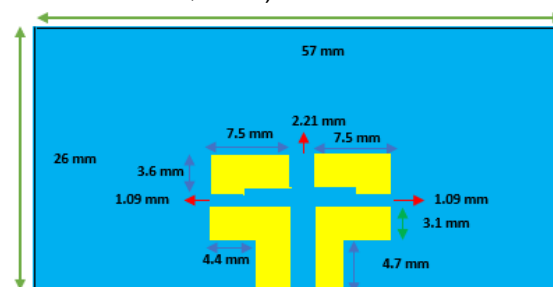
PEMBUATAN ANTENA FOLDED DIPOLE MIKROSTRIP

Beberapa langkah yang dilakukan dalam merancang sistem rekonfigurasi antenna folded dipole mikrostrip berbasis laser merah dan MMA adalah sebagai berikut:

Pada bagian yang pertama, antenna jenis ini dibuat dari bahan FR-4 dengan ketebalan 1,62 mm dan permitivitas relatif sebesar 2,2. Bahan FR-4 ini berfungsi sebagai substrat dielektrik pada sebuah antenna folded dipole mikrostrip (S. Z. Ali et al., 2024). Beberapa fungsi substrat dielektrik pada sebuah antenna folded dipole mikrostrip adalah menyokong struktur fisik agar antenna tetap stabil, mengontrol karakteristik gelombang elektromagnetik pada antenna seperti pada frekuensi resonansi, pola radiasi, bandwidth, dan sebagainya, serta dapat menentukan

ukuran antenna berdasarkan nilai konstanta dielektrik pada substrat tersebut (Q. Madao et al., 2022). Semakin besar nilai konstanta dielektrik pada substrat, maka ukuran antenna menjadi semakin lebih kecil.

Selanjutnya, pada bagian yang kedua adalah membuat lapisan tipis yang terbuat dari tembaga dengan bentuk antenna folded dipole. Supaya bisa diperoleh frekuensi kerja antenna sebesar 9 GHz, maka perlu dibuat desain simulasi melalui *software* CST *Studio microwave* terlebih dahulu sehingga ukuran pada lapisan tembaga sebagai berikut (M. S. K. Ezzulddin et al., 2020):

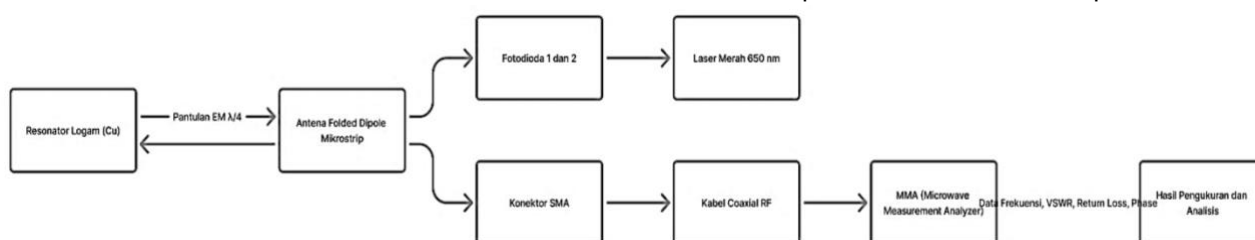


Gambar 2. Desain antenna folded dipole mikrostrip

Berdasarkan pada Gambar 2, menunjukkan bahwa dimensi untuk substrat antenna yang berupa FR-4 dengan warna biru memiliki dimensi panjang 57 mm, lebar 26 mm, dan tebal 1,6 mm. Sedangkan dimensi patch antenna yang berwarna kuning memiliki panjang dipole 15 mm (terbagi sama panjang antara dua kutub yaitu 7,5 mm), lebar dipole 3,1 mm, tebal dipole 0,03 mm, jarak spasi antara antenna dipole 1,09 mm, gap antara strip antenna dipole 2,21 mm, panjang feedline antenna dipole 4,7 mm, dan lebar feedline antenna dipole 3,1 mm.

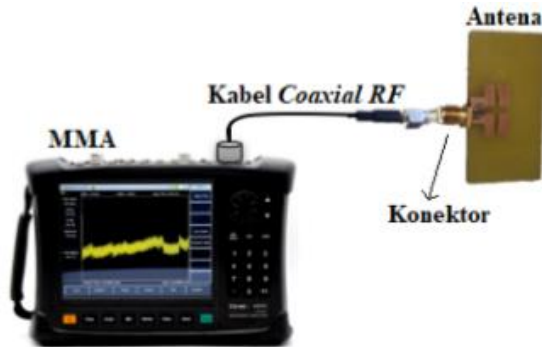
PENGUKURAN KARAKTERISASI ANTENA FOLDED DIPOLE MIKROSTRIP

Setelah desain antenna folded dipole mikrostrip dibuat. Kemudian, pada antenna



Gambar 1. Diagram Penelitian

folded dipole mikrostrip dilakukan pengukuran dengan menggunakan MMA saat laser merah 650 nm off dan on. Beberapa besaran pada antena yang diukur antara lain yaitu frekuensi kerja, panjang gelombang, VSWR, *bandwidth*, return loss, sudut fase, dan koefisien refleksi. Pada *feedline* antena dipasang sebuah konektor sehingga bisa dihubungkan dengan kabel *coaxial* RF yang bisa terhubung dengan MMA seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

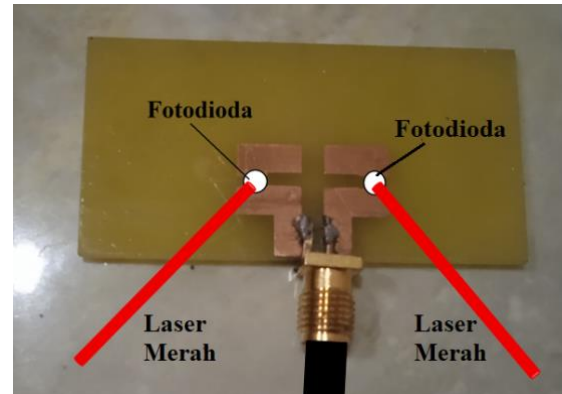


Gambar 3. Pengukuran karakterisasi antena folded dipole mikrostrip dengan menggunakan MMA

Untuk mekanisme pengukuran rekonfigurasi antena folded dipole mikrostrip berbasis laser merah 650 nm dan MMA adalah sebagai berikut: Laser merah yang telah dinyalakan diarahkan pada elemen fotosensitif, yang mana dalam hal ini adalah fotodiode. Energi foton yang terserap oleh fotodiode dapat menyebabkan transisi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Hal ini dapat meningkatkan densitas pembawa muatan bebas (*carrier density*) di dalam material fotodiode, sehingga dapat mengubah sifat konduktivitas listrik dan permitivitas efektif pada antena folded dipole mikrostrip (A. C. P. Siregar, 2023).

Dengan adanya modifikasi karakteristik elektromagnetik tersebut, maka dapat berdampak langsung pada distribusi arus permukaan yang mengalir pada struktur antena folded dipole mikrostrip. Perubahan distribusi arus pada antena folded dipole mikrostrip dapat menghasilkan pergeseran pada frekuensi kerja pada antena folded dipole mikrostrip dan dapat pula mempengaruhi perubahan dari parameter lain seperti pada return loss dan impedansi input yang terbaca oleh MMA. Dengan demikian, penyinaran laser merah 650 nm dapat berperan sebagai pemicu

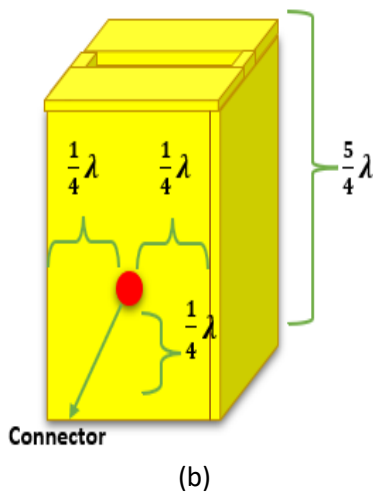
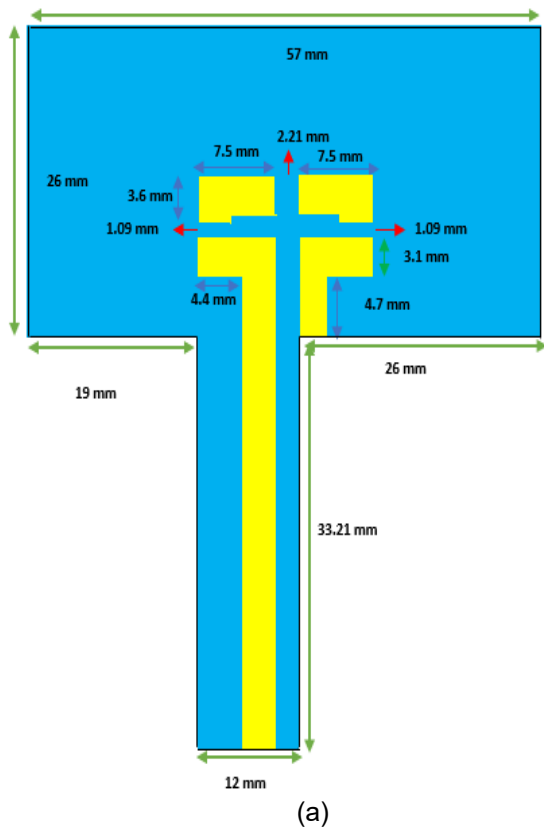
perubahan sifat elektromagnetik tanpa perlu melakukan kontak fisik dengan struktur antena. Teknik ini memungkinkan pengaturan frekuensi antena secara dinamis dan non-invasif melalui kontrol intensitas, posisi, serta durasi lamanya penyinaran oleh laser merah 650 nm tersebut (A. C. P. Siregar, 2023). Untuk bentuk pemasangan fotodiode dan proses penyinaran laser pada fotodiode dapat ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Bentuk pemasangan fotodiode dan proses penyinaran laser pada fotodiode

PEMBUATAN ANTENA FOLDED DIPOLE MIKROSTRIP DENGAN RESONATOR

Selanjutnya, untuk mengurangi pengaruh radiasi elektromagnetik dari luar, maka digunakan resonator yang terbuat dari logam. Resonator di buat logam tembaga dengan ketebalan ± 1 cm. Untuk dimensi panjang dan lebar pada resonator dibuat dengan kelipatan $\frac{1}{4}\lambda$, agar gelombang elektromagnetik pada antena dapat terpantul dengan sempurna (A. C. P. Siregar, 2023). Sedangkan untuk salah satu *feedline* dari antena folded dipole mikrostrip diperpanjang sejauh λ , agar dapat terpasang pada resonator dan tidak mengurangi proses pemantulan sempurna dari gelombang elektromagnetik pada antena tersebut. Untuk antena folded dipole mikrostrip beserta resonatornya dapat ditunjukkan pada Gambar 5 berikut.



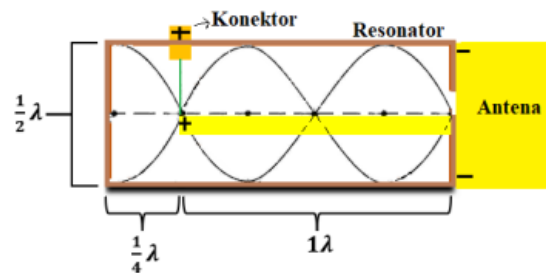
Gambar 5. (a) Bentuk antenna folded dipole mikrostrip yang dipasang pada resonator;
(b) Bentuk resonator

Berdasarkan Pada Gambar 5a, menunjukkan bahwa salah satu feedline dari pada antenna folded dipole mikrostrip dipanjangkan sebesar λ yaitu 33,21 cm. Nilai ini diperoleh dari pembagian nilai cepat rambat cahaya sebesar 3×10^8 m/s dibagi dengan nilai frekuensi hasil dari simulasi yaitu 9,03 GHz.

Selanjutnya, untuk dimensi resonator harus dibuat dengan kelipatan $\frac{1}{4}\lambda$ agar terjadi gelombang elektromagnetik pada antenna dapat

terpantul dengan sempurna seperti yang terdapat pada Gambar 5b.

Dalam penelitian ini, resonator yang digunakan terbuat dari bahan tembaga dengan ketebalan $1,6 \pm 0,2$ mm. Sedangkan bentuk resonator adalah kotak dengan ukuran $1,25\lambda \times 0,5\lambda \times 0,5\lambda$. Setelah itu, pada resonator dipasang konektor yang berada pada jarak $0,25\lambda$ dari sisi bawah, sisi kanan, dan sisi kiri. Hal ini dikarenakan agar gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh antenna folded dipole mikrostrip dapat terjadi pantulan sempurna. Bentuk perambatan gelombang elektromagnetik pada resonator dapat ditunjukkan pada Gambar 6.

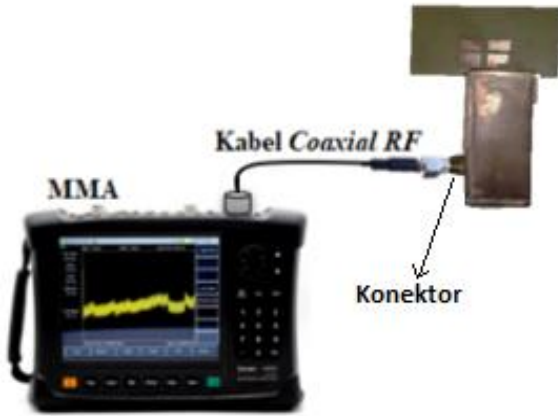


Gambar 6. Bentuk perambatan gelombang elektromagnetik pada resonator

PENGUKURAN REKONFIGURASI ANTENA FOLDED DIPOLE MIKROSTRIP DENGAN RESONATOR

Setelah desain antenna folded dipole mikrostrip dengan resonator dibuat. Kemudian, pada antenna folded dipole mikrostrip dengan resonator dilakukan pengukuran dengan menggunakan MMA saat laser merah 650 nm off dan on. Pengukuran besaran pada antenna folded dipole mikrostrip dengan resonator sama seperti besaran pada antenna folded dipole mikrostrip saat sebelum dipasang resonator. Hal ini bertujuan untuk membandingkan tingkat akurasi pada nilai besaran diantara dua metode tersebut.

Selanjutnya, untuk pemasangan konektor agar dapat terhubung dengan alat MMA, maka pada *feedline* antenna yang pendek ditempelkan pada alat resonator. Sedangkan antenna yang panjang dipasang sebuah konektor sehingga bisa dihubungkan dengan kabel *coaxial* RF yang bisa terhubung dengan MMA seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengukuran karakterisasi antena folded dipole mikrostrip dengan resonator dihubungkan dengan menggunakan MMA

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

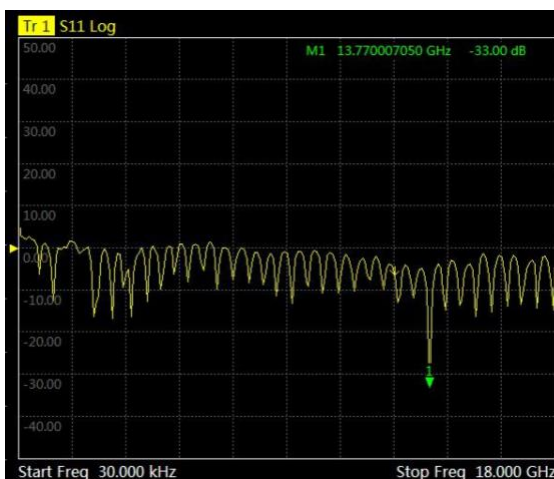
Berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan software CST menunjukkan bahwa frekuensi kerja pada antena folded dipole mikrostrip tanpa resonator sebesar 9,03 GHz saat laser off dan 6,67 GHz saat laser on. Sedangkan hasil pengukuran frekuensi kerja pada antena folded dipole mikrostrip tanpa resonator sebesar 13,77 GHz saat laser off dan 3,15 GHz saat laser on. Selisih perbedaan frekuensi antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran sangat jauh, sehingga perlu dilakukan penambahan resonator pada antena

folded dipole mikrostrip agar selisih perbedaan frekuensi kerja menjadi lebih akurat antara hasil simulasi dan hasil pengukuran.

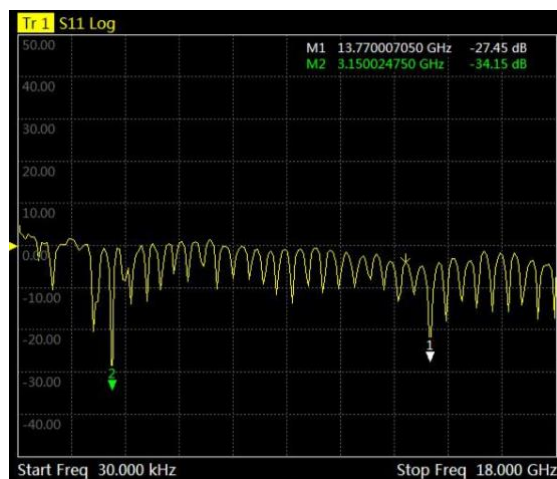
Berikut ini adalah perbandingan nilai besaran-besaran yang diperoleh dari hasil pengukuran pada antena folded dipole mikrostrip tanpa resonator dan dengan menggunakan resonator. Untuk hasil pengukuran pada antena folded dipole mikrostrip tanpa resonator dapat ditunjukkan dalam Tabel 1. Sedangkan Untuk hasil pengukuran pada antena folded dipole mikrostrip tanpa resonator dapat ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 1. Hasil pengukuran pada antena folded dipole mikrostrip tanpa resonator saat laser merah 650 nm off dan on

No	Besaran	Antena tanpa resonator	
		Laser off	Laser on
1	Frekuensi	13,77 GHz	3,15 GHz
2	Panjang gelombang	12,06 mm	52,70 mm
3	Sudut fase	-102,47 ⁰	161,84 ⁰
4	VSWR	1,05	1,05
5	Bandwidth	0,200GHz	0,152 GHz
6	Koefisien refleksi	0,0244	0,0244
7	Return loss	-33 dB	-34,15 dB
8	Reflected power	0,06 %	0,06 %

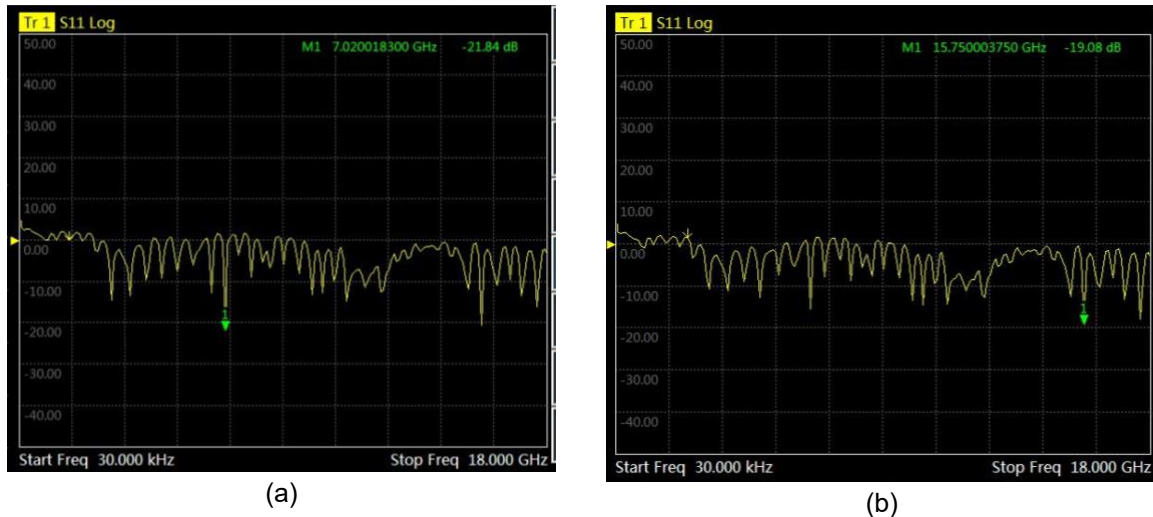


(a)



(b)

Gambar 8. Grafik S11 hubungan antara return loss terhadap frekuensi kerja hasil pengukuran pada antena folded dipole mikrostrip tanpa resonator: (a) Saat laser merah 650 nm off, (b) Saat laser merah 650 nm on



Gambar 9. Grafik S11 hubungan antara return loss terhadap frekuensi kerja hasil pengukuran pada antenna folded dipole mikrostrip dengan resonator: (a) Saat laser merah 650 nm off, (b) Saat laser merah 650 nm on

Tabel 2. Hasil pengukuran pada antenna folded dipole mikrostrip dengan resonator saat laser merah 650 nm off dan on

No	Besaran	Antena dengan resonator	
		Laser off	Laser on
1	Frekuensi	15,75 GHz	7,02 GHz
2	Panjang gelombang	10,54 mm	23,65 mm
3	Sudut fase	113,55°	151,56°
4	VSWR	1,17	1,10
5	Bandwidth	0,120GHz	0,119 GHz
6	Koefisien refleksi	0,0783	0,0476
7	Return loss	-21,88 dB	-26,61 dB
8	Reflected power	0,61 %	0,23 %

Untuk grafik S11 hubungan antara return loss terhadap frekuensi kerja hasil pengukuran pada antenna folded dipole mikrostrip tanpa resonator saat laser merah 650 nm off dan on dapat ditunjukkan pada Gambar 8.

Sedangkan untuk grafik S11 hubungan antara return loss terhadap frekuensi kerja hasil pengukuran pada antenna folded dipole mikrostrip dengan resonator saat laser merah 650 nm off dan on dapat ditunjukkan pada Gambar 9.

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, menunjukkan bahwa terdapat mekanisme elektrik di balik rekonfigurasi frekuensi menggunakan laser merah pada antenna folded

dipole mikrostrip sebagai berikut:

1. Adanya absorpsi foton oleh material fotokonduktif
Saat laser merah 650 nm diarahkan ke elemen fotokonduktif yang berupa fotodiode, maka foton memberikan energi yang cukup untuk memindahkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi, sehingga terjadi peningkatan densitas pembawa yaitu elektron dan hole.
2. Terjadi peningkatan konduktivitas material logam pada patch antenna. Dengan adanya kenaikan pembawa muatan yang berupa elektron dan hole, sehingga dapat menyebabkan konduktivitas logam pada patch antenna menjadi naik drastis. Dalam hal ini Material fotodiode bertindak seperti saklar optik atau varaktor berbasis cahaya.
3. Terjadi perubahan permitivitas efektif
Selain konduktivitas, besaran permitivitas efektif (ϵ_{eff}) di sekitar antenna juga mengalami perubahan. Hal ini terjadi karena perubahan *carrier* dapat mengubah respons elektromagnetik material, sehingga lingkungan dielektrik mikrostrip menjadi berubah seperti pada impedansi gelombang dan panjang gelombang propagasi yang berubah.
4. Adanya modifikasi distribusi arus

Permukaan

Antena mikrostrip bergantung pada distribusi arus permukaan. Dengan perubahan konduktivitas (σ) dan permitivitas efektif (ϵ_{eff}), maka jalur arus permukaan menjadi bergeser, mode resonansi berganti, dan panjang resonansi efektif antena berubah.

5. Pergeseran Frekuensi Resonansi

Oleh karena frekuensi resonansi antena ditentukan oleh konduktivitas (σ) dan permitivitas efektif (ϵ_{eff}), maka frekuensi resonansi menjadi turun saat laser on dan frekuensi resonansi kembali naik saat laser off. Dengan kata lain, adanya sinar laser dapat mengubah "panjang listrik" dari antena, bukan panjang fisiknya.

Secara umum, nilai frekuensi kerja pada antena folded dipole mikrostrip yang terukur saat laser merah 650 nm off baik pada Tabel 1 dan pada Tabel 2 terjadi error yang cukup besar untuk bisa mendekati nilai 9 GHz pada hasil simulasi. Hal ini dikarenakan pada antena dengan rentang frekuensi yang tinggi dapat memiliki kemampuan sensitifitas yang tinggi pula. Error yang cukup tinggi ini disebabkan karena adanya pengaruh gelombang elektromagnetik yang ada disekitarnya. Oleh karena itu, untuk memperoleh hasil akurasi yang tinggi saat pengukuran, maka sebaiknya dilakukan pengukuran di dalam ruang hampa (A. C. P. Siregar & N. M. Tamimah, 2022).

Selanjutnya, untuk nilai frekuensi kerja pada antena folded dipole mikrostrip yang terukur saat laser merah 650 nm on menunjukkan bahwa pada antena folded dipole mikrostrip dengan menggunakan resonator memiliki nilai akurasi yang tinggi dibandingkan dengan yang tidak menggunakan resonator. Untuk selisih nilai frekuensi yang tidak menggunakan resonator sebesar 3,15 GHz dan yang menggunakan resonator sebesar 7,02 GHz. Nilai 7,02 GHz ini lebih akurat karena mendekati selisih dari nilai hasil simulasi sebesar 6,67 GHz. Hal ini terlihat jelas bahwa pengaruh resonator dapat meminimalisasi pengaruh radiasi gelombang elektromagnetik dari lingkungan di sekitarnya saat laser 650 nm dalam kondisi on. Hal ini dikarenakan radiasi

gelombang elektromagnetik dari antena folded dipole mikrostrip dapat terjaga oleh adanya resonator sehingga error yang dihasilkan menjadi rendah.

Sedangkan untuk besaran panjang gelombang pada antena folded dipole mikrostrip memiliki sifat yang saling berlawanan dan saling mempengaruhi dengan frekuensi kerja. Jadi, apabila terjadi error yang tinggi pada pengukuran frekuensi kerja dari antena folded dipole mikrostrip, maka hasil pengukuran untuk panjang gelombang elektromagnetik yang bekerja pada antena folded dipole mikrostrip juga mengalami error yang tinggi pula.

Untuk nilai sudut fase yang tinggi yaitu mendekati nilai -180° atau 180° , maka dapat menyebabkan nilai pada VSWR menjadi rendah atau mendekati nilai 1. Hal ini menunjukkan bahwa pada sistem antena folded dipole mikrostrip mengalami matching yang mendekati sempurna, yaitu gelombang elektromagnetik yang bekerja pada antena hanya mengalami sedikit pemantulan, sehingga antena folded dipole mikrostrip menjadi sangat efisien.

Pengukuran VSWR pada antena folded dipole mikrostrip ini menjadi sangat penting untuk mengetahui seberapa besar tingkat efisien energi RF (*Radio Frequency*) yang ditransmisikan dari sumber ke antena folded dipole mikrostrip. Berdasarkan data pada Tabel 1 dan 2 menunjukkan bahwa tingkat efisien energi RF yang ditransmisikan dari sumber energi ke antena folded dipole mikrostrip menjadi sangat tinggi. Hal ini terbukti pada nilai koefisien refleksi yang sangat kecil dan nilai reflected power yang kurang dari 1 %. Hal ini menunjukkan bahwa hampir semua gelombang elektromagnetik dari sumber ditransmisikan ke antena folded dipole mikrostrip sehingga pada antena folded dipole mikrostrip dan kabel saluran coaxial RF mengalami impedansi yang sangat matching.

Selain itu, nilai return loss yang kecil yaitu < -10 dB, maka dapat menyebabkan daya atau energi RF yang dipantulkan menjadi semakin kecil. Jadi, semakin besar nilai return loss, maka semakin kecil daya yang dipantulkan, maka matching impedansi menjadi

lebih baik. Untuk nilai return loss pada antena tanpa resonator menunjukkan nilai -33 dB saat laser off dan -34,15 dB saat laser on. Sedangkan saat antena dengan resonator, nilai return loss berubah menjadi lebih besar yaitu dari -21,88 dB saat laser off dan -26,61 dB saat laser on. Hal ini dikarenakan adanya pantulan rediasi gelombang elektromagnetik dari resonator untuk kembali ke antena sehingga return loss menjadi sedikit lebih besar daripada saat sebelum ada resonator. Akan tetapi, nilai return loss masih sesuai dengan standard yaitu < -10 dB. Selain itu, banyaknya pengaruh radiasi gelombang elektromagnetik dari lingkungan luar yang ditransmisikan di dalam antena dapat mempengaruhi nilai return loss menjadi sangat kecil. Semakin kecil nilai return loss, maka nilai koefisien refleksi juga menjadi lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa gelombang elektromagnetik yang ditransmisikan di dalam antena folded dipole mikrostrip lebih banyak daripada yang dipantulkan. Hal ini terbukti dari nilai persentase reflected power menjadi sangat kecil. Oleh karena itu, pengukuran antena folded dipole mikrostrip tanpa resonator menjadi tidak akurat dikarenakan banyaknya pengaruh radiasi gelombang elektromagnetik yang masuk ke dalam antena folded dipole mikrostrip tersebut.

Untuk nilai *bandwidth* pada antena folded dipole mikrostrip memiliki nilai yang sama saat laser merah 650 nm off baik tanpa resonator maupun dengan resonator. Hal ini karena pengaruh bentuk dimensi antena yang sama, sehingga menghasilkan nilai *bandwidth* sama juga. Sedangkan saat laser merah 650 nm on, maka nilai *bandwidth* menjadi tidak sama. Hal ini dikarenakan saat laser merah 650 nm on, maka radiasi gelombang elektromagnetik disekitarnya juga ikut berpengaruh untuk memperbesar nilai *bandwidth*. Jadi, nilainya menjadi lebih besar apabila dibandingkan dengan nilai *bandwidth* saat dengan menggunakan resonator.

Berdasarkan hasil penelitian ini, menunjukkan bahwa pada antena folded dipole mikrostrip dapat digunakan untuk alat komunikasi dengan frekuensi yang tinggi yaitu pada tingkat SHF (Super High Frequency)

seperti contoh pada penerapan WiFi 5 GHz yang berfungsi pada penguat sinyal outdoor dan pada penerapan radar kendaraan yang berfungsi sebagai sensor blind spot pada antena (G. Naik et al., 2018).

PENUTUP

Pada antena folded dipole mikrostrip dapat digunakan sistem rekonfigurasi dengan menggunakan laser merah 650 nm. Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan resonator dapat mengurangi error akibat pengaruh radiasi gelombang elektromagnetik dari lingkungan luar, sehingga bisa diperoleh hasil yang lebih akurat.

Disamping itu, berdasarkan hasil pengukuran menunjukkan bahwa antena folded dipole mikrostrip dapat bekerja pada frekuensi tinggi pada tingkat SHF. Hal ini terbukti dari hasil pengukuran yang menunjukkan bahwa nilai koefisien refleksi dan return loss yang bernilai sangat kecil sehingga tingkat efisien energi RF pada antena folded dipole mikrostrip menjadi sangat besar. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa antena folded dipole mikrostrip dapat diterapkan pada WiFi 5 GHz yang berfungsi pada penguat sinyal outdoor dan pada radar kendaraan yang berfungsi sebagai sensor blind spot.

Selain itu, banyaknya pengaruh radiasi gelombang elektromagnetik dari luar dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Oleh karena itu, untuk memperoleh hasil akurasi yang tinggi saat pengukuran, maka sebaiknya dilakukan pengukuran di dalam ruang hampa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada seluruh civitas akademik di Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur yang ikut mendukung pembuatan artikel ini.

REFERENSI

Abyakto, R., Auliani, Q., Baihaqi, N., Rizki, M., & Karlina, D. L. (2024). Analisis Gelombang Elektromagnetik pada Transmisi Jaringan 5G di Indonesia. *Jurnal Teknik Mesin*,

- Industri, Elektro dan Informatika*, 3(4), 214-222.
 doi: <https://doi.org/10.55606/jtmei.v3i4.4545>
- Ali, S. Z., Ahsan, K., ul Khairi, D., Alhalabi, W., & Anwar, M. S. (2024). Advancements in FR4 dielectric analysis: Free space approach and measurement validation. *PLoS One*, 19(9), e0305614.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0305614>
- Dase, S. (2022). *Antena dan Propagasi: Teori dan Praktik*. Penerbit Andi.
- De Guzman, J. L., Villagomez, A. C., & Arboleda, E. (2024). Design and optimization of microstrip patch antennas for wireless communication systems—A literature review. doi: 10.20944/preprints202405.0802.v1
- Ezzulddin, M. S. K., Hasan, S. O., & Mustafa, M. (2020). Design and simulation of microstrip patch antenna for 5G application using CST studio. *Int. J. Adv. Sci. Technol*, 29(4), 7193-7205.
- Hadiwiyatno, H., Wirayoga, S., & Imamuddin, A. M. (2024). Perancangan dan implementasi antena mikrostrip hardware komunikasi wireless MISO 2x1 dengan frekuensi kerja 2, 4 GHz Dan 5 GHz untuk access point. *JURNAL ELTEK*, 22(1), 1-7.
 doi: <https://doi.org/10.33795/eltek.v22i1.4015>
- Haq, M. A. U., Armghan, A., Aliqab, K., & Alsharari, M. (2023). A review of contemporary microwave antenna sensors: Designs, fabrication techniques, and potential application. *IEEE Access*, 11, 40064-40074.
 doi: 10.1109/ACCESS.2023.3268109
- Madao, Q., Pramudita, A. A., & Ryanu, H. H. (2022). Perancangan Antena Mikrostrip Reconfigurable Polarisasi Untuk Sistem Komunikasi Satelit. *eProceedings of Engineering*, 9(6).
- Mishra, B., Verma, R. K., & Singh, R. K. (2022). A review on microstrip patch antenna parameters of different geometry and bandwidth enhancement techniques. *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, 14(5), 652-673.
 doi: <https://doi.org/10.1017/s1759078721001148>
- Naik, G., Liu, J., & Park, J. M. J. (2018). Coexistence of wireless technologies in the 5 GHz bands: A survey of existing solutions and a roadmap for future research. *IEEE communications surveys & tutorials*, 20(3), 1777-1798.
- Rayas-Sánchez, J. E., Koziel, S., & Bandler, J. W. (2021). Advanced RF and microwave design optimization: A journey and a vision of future trends. *IEEE Journal of Microwaves*, 1(1), 481-493.
 doi: 10.1109/COMST.2018.2815585
- Sania, U. K., Handayani, A. S., Sarjana, S., Husni, N. L., & Rahman, A. (2022). Analisis Performa Antena Mikrostrip, Folded Dipole dan Open Dipole 1090 MHz Pada ADS-B Receiver Pesawat. *SMATIKA JURNAL: STIKI Informatika Jurnal*, 12(02), 287-296.
DOI: <https://doi.org/10.32664/smatika.v12i02.704>
- Siregar, A. C. P., & Tamimah, N. M. (2022). *Fisika Dasar Jilid 2: Mekanika Lanjut* (Vol. 2). CV. Kanaka Media.
- Siregar, A. C. P., Pramono, Y. H., & Yudoyono, G. (2022). The Effect of Shape on Microstrip Folded Dipole Antenna on the Compatibility Between Simulation and Experimental Method. *International Journal of Microwave and Optical Technology*, 17(6), 604-612.
- Siregar, A. C. P., Pramono, Y. H., & Yudoyono, G. (2022, November). Reconfigurable

Folded Dipole Antenna Based on Resonator and Red Photodiode. In *The 4th International Seminar on Science and Technology (ISST-4)*.

techniques. *Construction and Building Materials*, 109, 146-155. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.113>

Siregar, A. C., Yudoyono, G., & Pramono, Y. H. (2023, May). A study of silicon effect as a switch on folded dipole antenna. In *THE 2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHYSICS AND APPLICATIONS 2021* (Vol. 2604, No. 1, p. 070003). AIP Publishing LLC. <https://doi.org/10.1063/5.0114437>

Siregar, A. C. P., Pramono, Y. H., & Yudoyono, G. (2023). Analysis of Resonator on Reconfigurable Folded Dipole Antenna from Infrared Photodiode. *International Journal of Microwave and Optical Technology*, 18(2), 175-183.

Siregar, A. C. P. (2023). *Analisis Reconfigurable Antena Folded Dipole Mikrostrip Berstruktur Coplanar Stripline (Cps)* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember). <http://repository.its.ac.id/id/eprint/98508>

Sulaksono, D. H., & Siregar, A. C. P. (2019). Power loss classification on shifts based on SMS (Singlemode-Multimode-Singlemode) structured fiber optic using gaussian naïve bayes method. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 462, No. 1, p. 012024). IOP Publishing. doi:10.1088/1757-899X/462/1/012024

Widyanto, S. W., Agus, M., Wisnugroho, S., & Kuncoro, A. (2019, September). Teknik Telekomunikasi pada Perencanaan Teknologi Pengawasan Wilayah Konservasi Laut. In *Seminar Nasional Sinergitas Multidisiplin Ilmu Pengetahuan dan Teknologi* (Vol. 2, pp. 259-266).

Yu, T., Cheng, T. K., Zhou, A., & Lau, D. (2016). Remote defect detection of FRP-bonded concrete system using acoustic-laser and imaging radar