

Desain dan Implementasi Variasi Dimensi Slot Pada Mikrostrip *Double F* Menggunakan Metode *Finite Difference Time Domain* (FDTD)

The Design and Implementation of Slot Dimension Variation on Double F Microstrip using FDTD Method

Nurista Wahyu Kirana^{a,*}, Sholeh Hadi P^b, Erni Y^b

^aTeknik Elektro Universitas Brawijaya

Jalan M.T. Haryono 167 Malang 6514, Indonesia

^bLaboratorium Teknik Elektro Universitas Brawijaya

Jalan M.T. Haryono 167 Malang 6514, Indonesia

Abstrak

Pada penelitian ini dirancang antenna mikrostrip dengan slot *double F*, di mana antenna ini dapat digunakan untuk perangkat *wireless* yang bekerja pada frekuensi *multiband*. Antenna mikrostrip *double F* dirancang dengan simulasi, dipabrikan dan diukur secara riil. *Finite Difference Time Domain* (FDTD) digunakan untuk menganalisis karakteristik distribusi arus yang tersebar pada mikrostrip. Nilai parameter terbaik dari hasil simulasi untuk *return loss* adalah -31,09 dB pada frekuensi 2,4 GHz dan VSWR sebesar 1,057 sedangkan hasil pengukurannya sebesar -32,82 dB pada frekuensi 2,4 GHz dan VSWR sebesar 1,045. Penggunaan slot pada *patch* antenna dan pencatutan *proximity* yang digunakan meningkatkan *bandwidth* antenna sebesar 48,7% dan *gain* yang dihasilkan sebesar 5,97 dBi.

Kata kunci: *bandwidth*, FDTD, *return loss*, VSWR, *gain*.

Abstract

In this paper, the characteristics of microstrip antenna using a double F slot are studied. It can be used for a wireless device that works on multiband frequency. Double F slot and proximity feed are used in order to obtain larger bandwidth and multiple frequency. Finite Difference Time Domain (FDTD) is used to analyze the characteristics of the current distribution on the patch by changing the variable of slot's length. From the simulation results, return loss of double F slot antenna is -31.09 dB at 2.4 GHz and VSWR is 1.057. Afterwards, the measurement result has -32.82 dB at 2.4 GHz and VSWR is 1.045. From the study, the usability of slot size and proximity feed give effect to increase the bandwidth until 48.7% and 5.97 dBi gain.

Keywords: *bandwidth*, FDTD, *return loss*, VSWR, *gain*.

I. PENDAHULUAN

Teknologi *wireless* semakin dibutuhkan seiring dengan kebutuhan manusia untuk komunikasi *mobile* yang terus berkembang. Dalam upaya mendukung proses komunikasi *wireless* dibutuhkan peranan antenna dalam proses transmisinya. Karakteristik antenna yang dibutuhkan untuk komunikasi *wireless* yaitu mempunyai ukuran kecil, ringan, biaya rendah, proses pabrikan yang mudah, dapat diintegrasikan dengan perangkat *microwave* dan *conformal* (dapat menyesuaikan dengan tempat di mana antenna tersebut diletakkan) [1]. Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena dengan karakteristik yang tepat akan kebutuhan tersebut. Namun, jenis antena ini memiliki beberapa kelemahan, di antaranya *gain* rendah, keterarahan yang kurang baik, efisiensi rendah, rugi-rugi hambatan pada saluran pencatu, eksitasi gelombang permukaan dan *bandwidth* rendah [2].

Kelemahan yang dimiliki oleh antena mikrostrip dapat diatasi dengan beberapa cara atau metode, di antaranya adalah dengan menggunakan teknik pencatutan atau dengan menambahkan slot pada *patch* mikrostrip. Penggunaan slot pada antena mikrostrip telah banyak digunakan untuk meningkatkan kinerja antena terutama *bandwidth* dan *gain* seperti penggunaan e-slot, L-slot [3], U-slot [4], dan *single slot* [5]. Geometri *double F* merupakan pengembangan dari slot *double C* [6] dan mikrostrip *inverted F* [7]. Medan listrik dan medan magnet yang berubah terhadap waktu akan mendasari gelombang elektromagnet. Dari penelitian tentang antena mikrostrip sebelumnya perlu dikaji lebih dalam tentang analisis distribusi arus pada *patch* antena. Setelah Yee pada tahun 1966 memperkenalkan metode *Finite Difference Time Domain* (FDTD) untuk menganalisis medan listrik magnet [8], metode ini sekarang banyak diterapkan untuk permasalahan analisis antena. Persamaan rotasi dari persamaan Maxwell merupakan dasar implementasi metode FDTD [9].

Dalam metode FDTD, propagasi gelombang elektromagnetik disimulasikan dalam koordinat tiga dimensi dan wilayah analisis didiskritkan menjadi unit

* Corresponding Author.

Email: nurista.w.kirana@gmail.com

Received: April 26, 2015; Revised: May 11, 2015

Accepted: May 11, 2015

Published: June 30, 2015

© 2015 PPET - LIPI

doi : 10.14203/jet.v15.6-13

sel segiempat atau sel Yee yang berisi komponen medan listrik (medan E) dan medan magnet (medan H) secara berulang. FDTD banyak diterapkan sebagai metode untuk analisis distribusi arus pada *patch* antenna, karena kemudahan untuk analisis permasalahan yang didasarkan pada persamaan integral yang sangat sulit dipecahkan pada metode yang lainnya [10]. Metode FDTD digunakan sebagai analisis distribusi arus antenna pada *patch* mikrostrip seperti bentuk *T-patch* [11] dan *H-patch*. Oleh karena itu penulis akan merancang suatu antenna mikrostrip dengan slot berbentuk *double F* pada *patch* persegi, serta menganalisis karakteristik antenna dengan menggunakan metode FDTD.

II. METODE FDTD

Dalam menentukan metode FDTD ditentukan terlebih dahulu wilayah analisis yang membungkus sumber gelombang, benda hambur. Lalu wilayah analisis ini dicacah menjadi banyak sel kecil. Setelah itu ditentukan persamaan turunan Maxwell untuk kondisi *free space* [12] seperti pada Persamaan 1 dan 2.

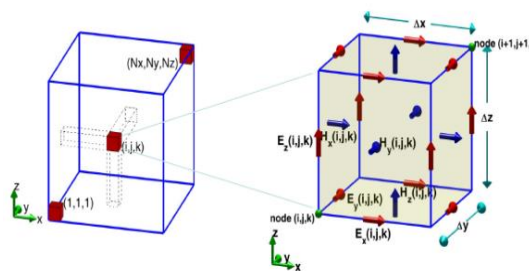
$$\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon_0} \nabla \times H \quad (1)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} = -\frac{1}{\mu_0} \nabla \times E \quad (2)$$

di mana :

| | |
|---------------------------------|---|
| E | : vektor medan listrik, |
| H | : vektor medan magnet, |
| $\frac{\partial E}{\partial t}$ | : turunan parsial medan listrik terhadap waktu, |
| $\frac{\partial H}{\partial t}$ | : turunan parsial medan magnet terhadap waktu, |
| μ_0 | : permeabilitas ruang hampa, |
| ϵ_0 | : permitivitas ruang hampa. |

Sebagai dasar persamaan gelombang datar dengan medan listrik pada sumbu x dan medan magnet pada sumbu y yang merambat pada sumbu z [13]. Gambar 1 menunjukkan ilustrasi FDTD 3 dimensi (3D FDTD) di mana wilayah analisis dibagi di dalam beberapa unit sel.

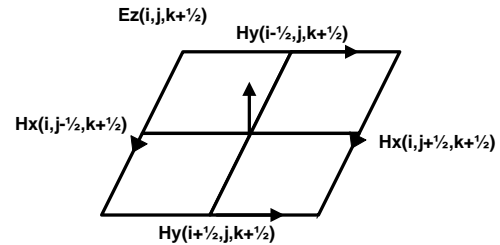


Gambar 1. Unit Sel 3D FDTD yang Merepresentasikan Komponen Medan Listrik dan Medan Magnet di Dalam Sel Yee.

Langkah pertama untuk merancang antenna mikrostrip dengan menggunakan FDTD adalah dengan membagi objek menjadi beberapa bagian (*mesh grid*). Sejumlah parameter harus ditentukan agar program dapat berjalan dengan baik [14]. Ukuran *grid* harus cukup kecil agar medan yang dicacah dapat mendekati nilai yang akurat. Apabila satu *grid* tersebut telah dipilih, maka step waktu juga telah secara otomatis

ditentukan, sehingga menghindari adanya instabilitas numerik.

Dalam metode FDTD juga diperlukan penentuan titik bagi (*grid point*) yang paling dekat dengan koordinat (i,j,k) yaitu $E_z(i,j,k)$, di mana susunan medan listrik dan magnet terdekat dengan titik bagi ditunjukkan pada Gambar 2.

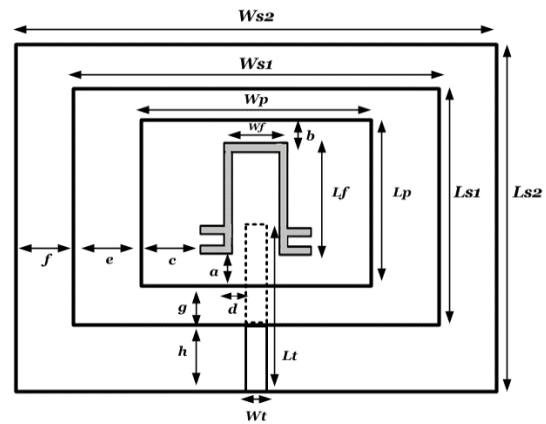


Gambar 2. Penyusunan Medan Listrik dan Magnet di Dekat Titik Bagi (i,j,k+1/2).

III. DESAIN DAN PABRIKASI ANTENA

Sebelum membuat antenna, terlebih dahulu dilakukan perhitungan terhadap dimensi antenna berdasarkan rumus yang diperoleh dari studi pustaka. Dari rumus tersebut kemudian diaplikasikan ke dalam simulasi. Simulasi antenna menggunakan *software* CST *Microwave studio*.

Geometri antenna mikrostrip *double F* yang dirancang seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Slot berbentuk *double F* diletakkan di atas *patch* antenna. Bahan substrat dielektrik yang digunakan adalah FR4 dengan ϵ_r sebesar 4,3 dengan ketebalan substrat 1,5 mm.



Gambar 3. Geometri Mikrostrip *Double F* Tampak Depan.

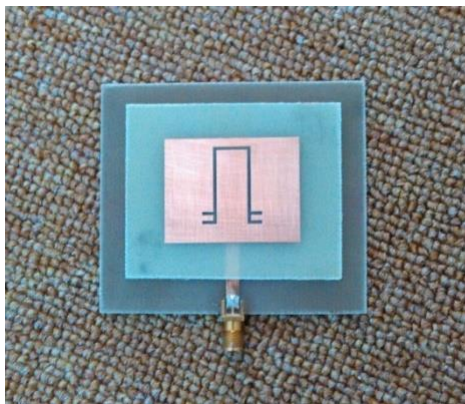
Teknik pencatutan yang digunakan pada penelitian ini adalah pencatutan *proximity* yaitu teknik pencatutan non-kontak yang bekerja dengan kopling *proximity*, sehingga saluran pencatu tidak menyentuh resonator. Teknik pencatutan ini juga mempertimbangkan penyesuaian impedansi dari *feedline* dan saluran transmisi.

Lapisan pertama yaitu lapisan paling atas adalah substrat pertama dengan *patch* tembaga dan slot *double F* di atasnya. Kemudian pada lapisan kedua substrat FR4 dengan *feedline* berbahan tembaga yang dihubungkan dengan konektor RSMA untuk pencatutnya. Sedangkan *groundplane* berbahan tembaga terletak di bagian bawah substrat kedua dengan ukuran sama dengan substrat kedua yaitu 63×73,5 mm seperti pada Tabel 1.

TABEL 1
UKURAN MIKROSTRIP *DOUBLE F*

| Dimensi Antena | Keterangan | Ukuran (mm) |
|----------------|--|-------------|
| a | Jarak slot dan bagian tepi bawah <i>patch</i> | 5 |
| b | Jarak slot dan bagian tepi atas <i>patch</i> | 1,1 |
| c | Jarak slot dan bagian tepi samping <i>patch</i> | 8 |
| d | Jarak slot dan <i>feedline</i> | 1,5 |
| e | Jarak antara tepi samping substrat pertama dan tepi <i>patch</i> | 10,4 |
| f | Jarak antara tepi samping substrat pertama dan tepi substrat kedua | 15 |
| g | Jarak antara tepi bawah substrat pertama dan tepi <i>patch</i> | 10,5 |
| h | Jarak antara tepi bawah substrat pertama dan tepi substrat kedua | 7,5 |
| L_p | Panjang <i>patch</i> | 27 |
| W_p | Lebar <i>patch</i> | 37,5 |
| L_f | Panjang slot <i>double F</i> | 21,7 |
| W_f | Lebar slot <i>double F</i> | 10,5 |
| L_{s1} | Panjang substrat pertama | 48 |
| W_{s1} | Lebar substrat pertama | 58,5 |
| L_{s2} | Panjang substrat kedua | 63 |
| W_{s2} | Lebar substrat kedua | 73,5 |
| L_t | Panjang transmisi / <i>feedline</i> | 27 |
| W_t | Lebar transmisi / <i>feedline</i> | 3,5 |

Selanjutnya, antena yang telah didesain, kemudian disimulasikan dengan menggunakan *software* CST Microwave Studio dan diuji parameter antenanya. Proses selanjutnya yaitu dilakukan pabrikan dan pengukuran secara riil terhadap parameter antena. Mikrostrip *double F* yang telah dipabrikan ditunjukkan pada Gambar 4.



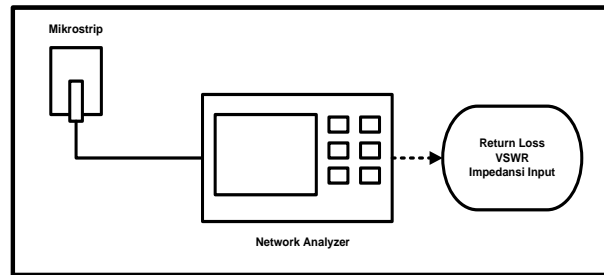
Gambar 4. Antena Mikrostrip *Double F* yang Telah Dipabrikan, Pencatu *Feedline* Dihubungkan Dengan Konektor RSMA Jack *Female*.

IV. PENGUJIAN ANTENA

A. Set-Up Pengukuran

Setelah dilakukan proses pabrikan, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian sistem untuk memperoleh data berupa parameter antena. Langkah *set up* pengukuran parameter antena seperti pada Gambar 5.

Antena mikrostrip dihubungkan dengan Agilent Vector network analyzer N9923A dengan menggunakan kabel *pigtail* untuk memperoleh nilai *return loss*, VSWR, dan impedansi. Parameter lain yang diukur adalah *gain* antena. Dalam penelitian ini, antena referensi yang digunakan adalah antena USB Adapter Wifi TPLink TL-WN722N. Setelah mengukur *gain*,



Gambar 5. Set-up Pengukuran Parameter Antena Dengan Network Analyzer.

langkah selanjutnya yaitu mengukur pola radiasi antena. Pengukuran ini dilakukan dengan dua macam, yaitu di bidang medan listrik (bidang E) dan bidang medan magnet (bidang H). Pengukuran pola radiasi horizontal dilakukan cara memasang antena standar (*access point TP Link*) secara vertikal pada suatu tripod dengan asumsi ketinggian antara antena standar dan antena yang akan diukur (antena mikrostrip *double F*) memiliki ketinggian yang sama seperti terlihat dalam Gambar 6.

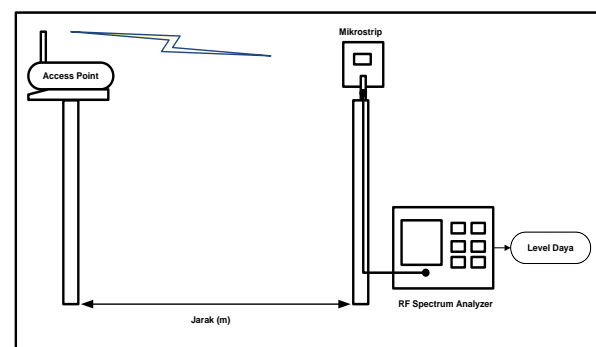
Antena mikrostrip *double F* juga diletakkan secara horizontal terhadap pencatunya, atau dengan acuan sudut awal 0° . Kemudian antena mikrostrip *double F* diputar secara periodik sejauh 10° searah jarum jam. Tiap kali putaran dicatat hasil level daya yang terukur pada perangkat *RF spectrum analyzer*. Proses ini dilakukan sampai jarak putaran menempuh 360° . Sedangkan untuk pola radiasi vertikal, sebagai acuan digunakan sudut awal 90° , dengan variabel yang berubah adalah tiap 10° sampai jarak putaran menempuh 360° .

B. Metode Penelitian

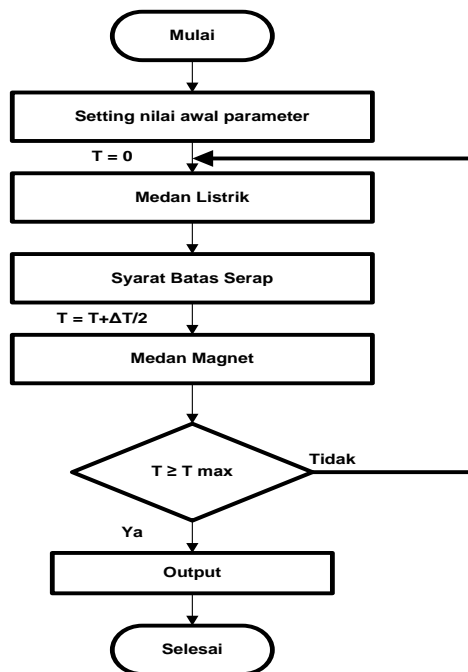
Selain memperoleh hasil pengujian parameter antena dari hasil simulasi dan pengukuran, maka langkah selanjutnya yaitu analisis dengan menggunakan metode FDTD. Gambar 7 menunjukkan tentang algoritma FDTD.

Analisis gelombang elektromagnetik dilakukan dengan merubah variabel yang berupa dimensi slot yaitu dengan cara mengubah jarak slot dari tepi atas dan samping *patch* antena. Dari pengujian tersebut dapat dianalisis perubahan yang terjadi pada distribusi arus pada antena dengan metode FDTD.

Perubahan dimensi slot pada *patch* antena akan diamati perubahan terhadap distribusi arus dan medan listrik. Perubahan jarak slot pada *patch* antena akan

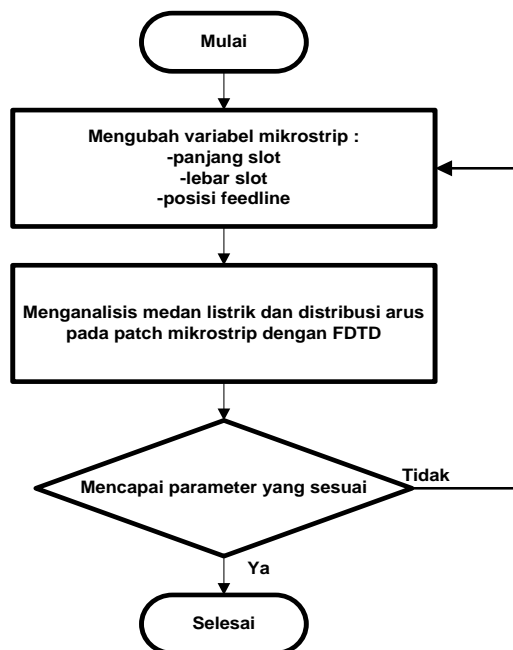


Gambar 6. Set-up Pengukuran Pola Radiasi Antena Dengan Menggunakan Spectrum Analyzer.



Gambar 7. Algoritma FDTD.

diamati perubahan terhadap distribusi arus dan medan listrik. Perubahan jarak slot terhadap tepi bawah *patch* (variabel 'a') berpengaruh pada perilaku medan listrik diamati pada *patch* antenna. Kemudian dengan cara yang sama, diubah jarak 'c' yaitu jarak slot dengan tepi samping *patch* yang berpengaruh juga pada lebar slot. Dari perubahan variabel tersebut, kemudian diamati distribusi arus yang menyebar pada *patch* antenna mikrostrip dengan menggunakan FDTD. Diagram alur metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 8.



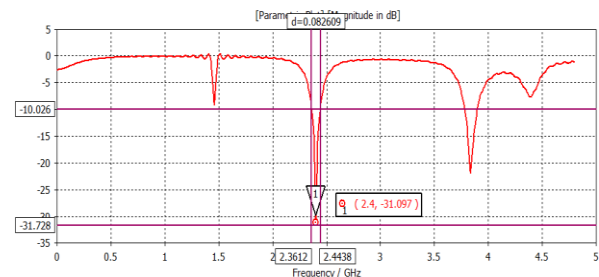
Gambar 8. Flowchart Metode Penelitian.

V. HASIL DAN ANALISIS

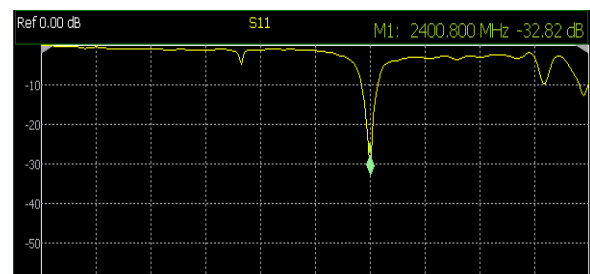
Dari pengujian antenna berupa simulasi dan pengukuran antenna yang telah dipabrikasi, didapatkan hasil berupa parameter antenna sebagai berikut:

A. Return loss

Berdasarkan hasil simulasi, tampilan *return loss* dapat dilihat pada Gambar 9. Berdasarkan hasil simulasi, nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 2,4 GHz adalah -31,09 dB. Frekuensi kerja dari antenna mikrostrip *double F* dapat diketahui dengan cara memasang *measured lines* pada nilai -10 dB, dikarenakan batas *return loss* yang baik adalah di bawah -10 dB.

Gambar 9. Hasil Simulasi *Return Loss* Dengan CST Microwave Studio.

Frekuensi kerja yang diketahui dari hasil simulasi yaitu dari 2,361 GHz sampai dengan 2,443 GHz. Karena antenna yang dibuat adalah antenna untuk WLAN maka frekuensi kerja mencakup untuk aplikasi WLAN dengan lebar frekuensi sebesar 0,082 GHz. Selain dapat bekerja pada frekuensi WLAN, mikrostrip *double F* yang telah disimulasikan ini dapat bekerja pada frekuensi 3,832 GHz dengan rentang frekuensi kerja 3,779 GHz sampai dengan 3,901 GHz, memiliki *bandwidth* sebesar 0,122 GHz. Selain hasil simulasi, *return loss* juga diperoleh dari pengukuran antenna yang telah dipabrikasi dengan menggunakan network analyzer seperti terlihat dalam Gambar 10.

Gambar 10. Hasil Pengukuran *Return Loss* Dengan Agilent Vector Network Analyzer N9923A.

Gambar 10 menunjukkan bahwa *return loss* yang dihasilkan dari antenna riil yang telah dipabrikasi pada frekuensi 2,4 GHz nilai *return loss* sebesar -32,82 dB. Antenna hasil pengukuran memiliki *range* frekuensi kerja dari 2,36 GHz sampai dengan 2,48 GHz sehingga *bandwidth*-nya sebesar 0,12 GHz. Selain bekerja pada frekuensi 2,4 GHz antenna mikrostrip yang dibuat juga bekerja pada frekuensi 3,96 GHz yang memiliki nilai *return loss* sebesar -15,50 dB.

B. Bandwidth

Bandwidth antenna adalah *range* frekuensi antenna dengan beberapa karakteristik, sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Dari penelitian yang telah dilakukan, *bandwidth* antenna dapat diketahui dari frekuensi kerja antenna baik dari hasil simulasi maupun dari hasil pengukuran seperti terlihat pada Tabel 2.

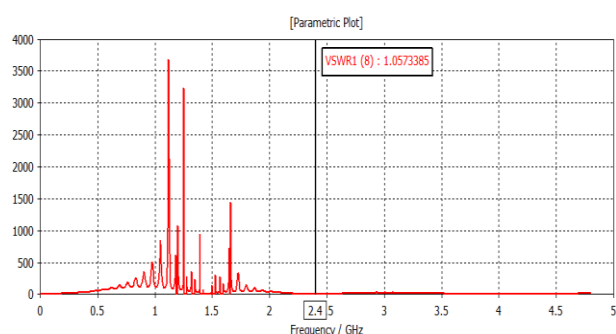
TABEL 2
BANDWIDTH ANTENA MIKROSTRIP DOUBLE F

| Hasil | Frekuensi Resonansi (GHz) | Bandwidth (GHz) |
|------------|---------------------------|-----------------|
| Simulasi | 2,36 – 2,44 | 0,082 |
| | 3,77 – 3,90 | 0,122 |
| Pengukuran | 2,36 – 2,48 | 0,12 |

Terlihat pada Tabel 2 bahwa *bandwidth* pada hasil simulasi untuk frekuensi 2,4 GHz adalah 0,082 GHz sedangkan hasil pengukuran yaitu 0,12 GHz.

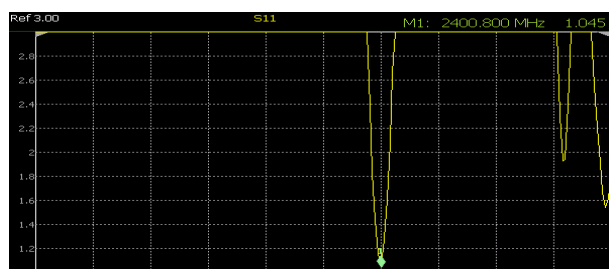
C. VSWR

Salah satu parameter penting lainnya dalam pengukuran antenna adalah *voltage standing wave ratio* (VSWR). VSWR adalah pengukuran dasar dari impedansi *matching* antara *transmitter* dan antenna. Hasil simulasi untuk tampilan VSWR adalah seperti Gambar 11.



Gambar 11. Hasil Simulasi VSWR Dengan CST Microwave Studio.

VSWR yang diperoleh dari hasil simulasi adalah 1,057. Hal ini membuktikan antenna mikrostrip yang telah dibuat memenuhi syarat karakteristik antenna yang baik karena nilai VSWR < 2. Nilai VSWR yang diperoleh cukup baik karena mendekati 1, di mana apabila nilai VSWR = 1 maka tidak ada gelombang yang terpantul dalam saluran transmisi artinya kondisinya adalah *match*. Untuk pengujian VSWR yang diujikan dengan *network analyzer* diperoleh hasil seperti pada Gambar 12.



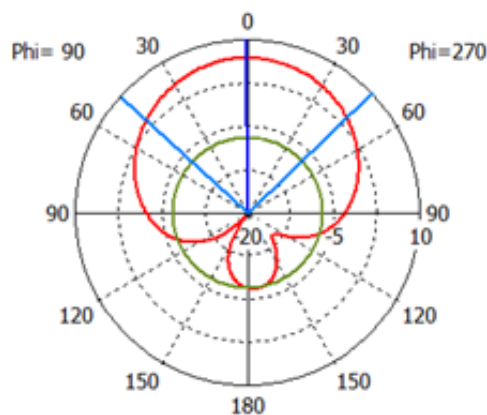
Gambar 12. Hasil Pengukuran VSWR Dengan Agilent Vector Network Analyzer N9923A.

Berdasarkan hasil pengukuran, hasil VSWR yang didapatkan pada frekuensi 2,4 GHz adalah 1,045. Sedangkan frekuensi 3,96 GHz memiliki VSWR sebesar 1,478. Hasil VSWR antara hasil simulasi dan pengukuran memiliki selisih yang tidak terlalu jauh. VSWR hasil pengukuran juga memiliki nilai < 2 dan mendekati 1 artinya antenna yang dibuat telah memenuhi syarat antenna yang baik karena hampir tidak ada gelombang pantul dengan nilai koefisien refleksi yang sangat kecil.

D. Gain dan Pola Radiasi

Pada pengukuran *gain* antenna digunakan metode perbandingan (*Gain-comparison Method*) atau *gain transfer mode*. Prinsip pengukuran ini adalah dengan menggunakan antenna referensi yang sudah diketahui nilai *gain*-nya. Prosedur ini memerlukan dua kali pengukuran yaitu terhadap antenna yang diukur dan terhadap antenna referensi. Antenna referensi yang digunakan adalah antenna USB *adapter wifi* TL-WN722N.

Berdasarkan hasil pengukuran, diperoleh nilai *gain* sebesar 5,97 dBi sedangkan *gain* dari hasil simulasi dapat diperoleh dari grafik polar yang dapat dilihat dari *magnitude mainlobe* yang dihasilkan oleh pola radiasi antenna mikrostrip *double F* seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. Pola Radiasi Antena Mikrostrip Double F.

Gambar 13 menunjukkan *gain* yang diperoleh dari hasil simulasi sebesar 6,85 dBi sedangkan nilai *Half Power Beam Width* (HPBW) yang diperoleh adalah 93,5°. HPBW adalah lebar sudut yang memisahkan dua titik setengah daya pada pancaran utama dari pola radiasi. Titik penurunan setengah daya terletak pada 3 dB. Nilai *side lobe level* (*lobe* kecil yang ada di dekat *main lobe*) pada pola radiasi antenna adalah -13,7 dB.

E. Impedansi Antena

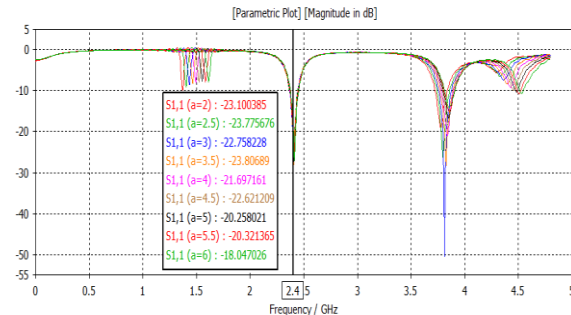
Parameter antenna lainnya yang dapat diukur adalah impedansi antenna. Dengan menggunakan *vector network analyzer*, didapatkan nilai impedansi antenna pada frekuensi 2,4 GHz adalah sebesar 47,8-j2,1 ohm yang artinya antenna mendekati kondisi yang *match*/sesuai dengan saluran transmisinya (impedansi saluran transmisi sebesar 50 ohm).

Selain pengujian parameter antenna, dari desain antenna yang telah dibuat dianalisis dari segi perubahan variabel dalam hal ini adalah panjang dan lebar slot dengan mengubah jarak slot dengan tepi *patch* antenna (dimensi panjang dan lebar *patch* antenna tetap). Nilai yang diubah adalah 'a' yaitu jarak antara slot dengan tepi bawah antenna yang berpengaruh terhadap dimensi panjang slot antenna, serta 'c' yaitu jarak antara slot dengan tepi samping *patch* antenna dengan nilai 'b' yaitu jarak slot dengan tepi atas antenna.

1) Pengaruh jarak 'a' terhadap return loss dan VSWR

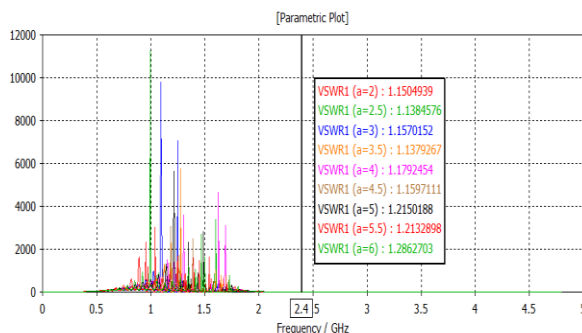
Setelah didapatkan hasil parameter antenna dari simulasi maupun pengukuran, langkah selanjutnya

untuk analisis adalah dengan mengubah nilai variabel antenna dalam hal ini adalah jarak ‘a’ yaitu jarak antara slot dengan tepi bawah antenna yang berpengaruh terhadap dimensi panjang slot antenna sedangkan nilai ‘b’ dan ‘c’ tetap. Nilai b diset sebesar 1,3 mm dan c sebesar 8 mm. Nilai a diubah dari 2 mm sampai dengan 6 mm dengan step 0,5 mm sehingga diperoleh nilai perubahan return loss seperti dalam Gambar 14.



Gambar 14. Pengaruh Jarak a Terhadap *Return Loss*.

Berdasarkan Gambar 14 di atas dapat dilihat bahwa pengubahan nilai a sebesar 2 mm sampai dengan 6 mm dengan step 0,5 mm sangat berpengaruh terhadap nilai return loss yang dihasilkan. Nilai return loss terbaik terletak pada a = 3,5 mm yang mempunyai nilai return loss sebesar -23,8 dB. Sedangkan pada frekuensi yang lebih tinggi, perubahan jarak slot terhadap *patch* berpengaruh terhadap pergeseran frekuensi namun tidak terlalu signifikan. Selain return loss, nilai pengubahan variabel a juga berpengaruh pada VSWR antenna seperti terlihat dalam Gambar 15.



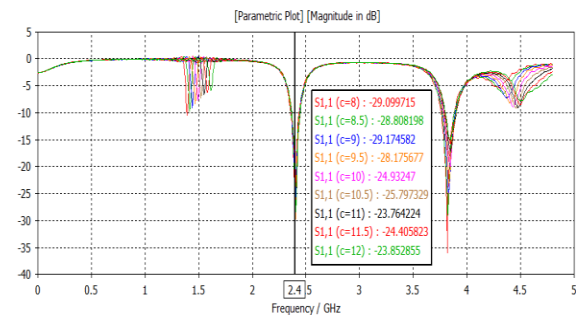
Gambar 15. Pengaruh Jarak a Terhadap VSWR.

Dari hasil VSWR yang diperoleh, menunjukkan bahwa perubahan jarak a terhadap VSWR antenna adalah semakin besar nilai a maka VSWR nya juga akan semakin kecil karena nilai return loss nya juga akan semakin besar. Jadi kondisi paling ideal dari antenna pada frekuensi 2,4 GHz adalah ketika nilai a = 3,5 mm dengan VSWR 1,137.

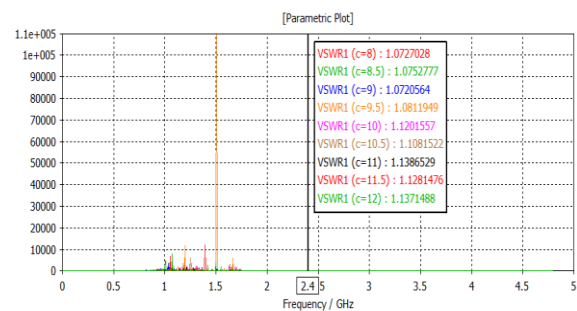
2) Pengaruh jarak ‘c’ terhadap return loss dan VSWR

Selain mengubah nilai a, variabel lain yang diubah adalah dengan mengubah nilai ‘c’ yaitu jarak antara slot dengan tepi samping *patch* antenna mikrostrip. Nilai c diubah dengan menetapkan nilai a dan b. Berdasarkan hasil pengujian, perubahan variabel c memberi pengaruh pada return loss namun tidak berpengaruh terhadap frekuensi resonansi. Nilai return loss terbaik yaitu -29,17 dB pada nilai c = 9 mm seperti terlihat dalam Gambar 16, sedangkan pengaruh jarak c terhadap

perubahan VSWR antenna dapat dilihat dalam Gambar 17.



Gambar 16. Pengaruh Jarak c Terhadap *Return Loss*.



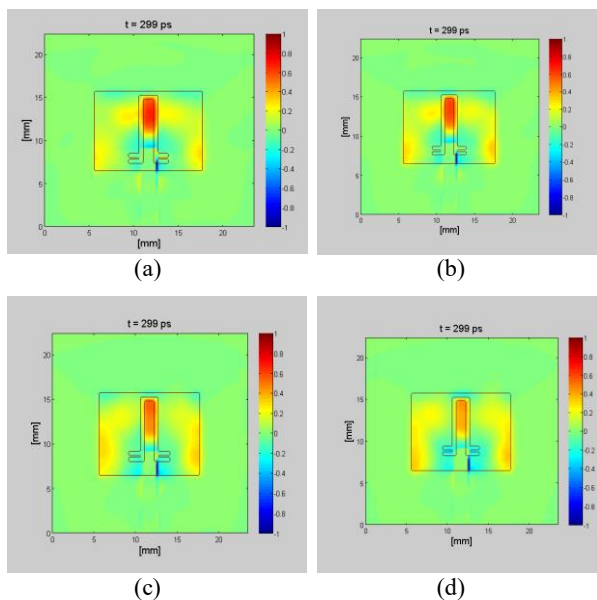
Gambar 17. Pengaruh Jarak c Terhadap VSWR.

Dari hasil VSWR yang diperoleh pada Gambar 17, terlihat bahwa VSWR terbaik adalah pada c = 9 mm yaitu sebesar 1,072. Hal tersebut membuktikan bahwa jarak slot terhadap tepi *patch* antenna tidak menggeser frekuensi resonansi secara signifikan namun hanya mengubah nilai return loss dan VSWR pada antenna.

3) Pengaruh perubahan jarak a dan c terhadap distribusi arus antenna

Setelah melakukan analisis terhadap parameter antenna, langkah selanjutnya adalah menganalisis perilaku distribusi arus yang ada pada antenna mikrostrip, dari perubahan nilai a diperoleh distribusi arus yang bervariasi. Dalam hal ini digunakan *software* Matlab untuk simulasi FDTD yang menggambarkan penyebaran arus pada *patch* antenna. Waktu iterasi maksimal yang digunakan adalah 1 *nanosecond* (ns) atau 1000 *picosecond* (ps). Perubahan nilai a terhadap distribusi arus antenna dapat dilihat pada Gambar 18.

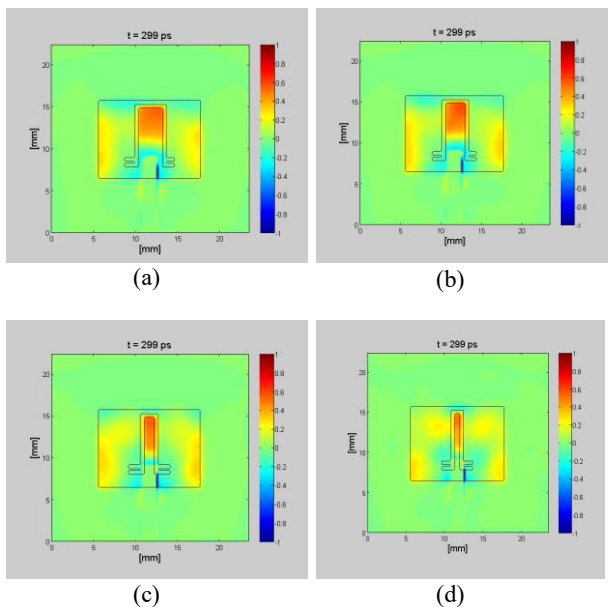
Berdasarkan hasil yang telah didapatkan pada Gambar 18 dapat dianalisis bahwa perubahan jarak a berpengaruh terhadap distribusi arus antenna. Semakin besar nilai a maka distribusi arus pada pusat *patch* berkurang intensitasnya. Ketika nilai a = 2 mm, arus pada pusat antenna sebesar 0,8 Ampere/meter (A/m) sedangkan pada saat jarak a diubah menjadi 3 mm, amplitudo arusnya menjadi 0,6 A/m, dan saat nilai a diubah menjadi 4 mm maka arus maksimal di pusat antenna menjadi 0,5 A/m sedangkan saat a = 5 mm arusnya menjadi 0,4 A/m. Namun, dengan waktu yang sama yaitu 299 ps maka semakin besar nilai a maka arus akan semakin menyebar ke tepi *patch*, hal ini dibuktikan dengan bertambahnya intensitas arus di tepi *patch* tetapi berkurang pada pusat *patch* antenna. Nilai c diubah dari 8 mm sampai dengan 11 mm dan dijalankan dengan waktu iterasi 1000 ps. Hasil distribusi arus yang



Gambar 18. Pengaruh Jarak a Terhadap Distribusi Arus Antena pada *Timestep* 299 ps, (a) Jarak 2 mm, (b) Jarak 3 mm, (c) Jarak 4 mm, (d) Jarak 5 mm.

menyebar pada *patch* antenna dengan perubahan nilai c dapat dilihat dalam Gambar 19.

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh, perubahan nilai c mengakibatkan pengaruh terhadap penyebaran arus antenna. Semakin besar nilai c maka mengakibatkan dimensi lebar slot menjadi semakin sempit. Hal tersebut berpengaruh pada distribusi arus yang menyebar pada *patch* antenna. Arus pada pusat antenna semakin berkurang seiring dengan bertambahnya nilai c . Pada saat $c = 8$ mm dan $c = 9$ mm arus yang ada pada *patch* sebesar 0,6 A/m sedangkan pada $c = 10$ mm dan $c = 11$ mm arus berkurang menjadi 0,5 A/m.



Gambar 19. Pengaruh Jarak c Terhadap Distribusi Arus Antena pada *Timestep* 299 ps, (a) Jarak 8 mm, (b) Jarak 9 mm, (c) Jarak 10 mm, (d) Jarak 11 mm.

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, telah dilakukan perancangan dan pembuatan antenna mikrostrip dengan slot *double F* menggunakan metode *Finite Difference Time Domain*

(FDTD). Pengujian parameter antenna telah dilakukan melalui prosedur pengukuran dan analisisnya berdasarkan perubahan variabel yaitu jarak slot terhadap tepi *patch* antenna yang berpengaruh terhadap dimensi antenna. Distribusi arus yang menyebar pada *patch* antenna juga telah dianalisis dengan menggunakan metode FDTD berdasarkan perubahan variabel tersebut. Berdasarkan semua hasil dan pembahasan yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada mikrostrip dengan pencatutan *proximity* tanpa slot, diperoleh nilai *return loss* sebesar -18,741 dB dan *bandwidth* sebesar 0,077 GHz pada frekuensi 2,4 GHz sedangkan dengan menggunakan slot *double F* nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 2,4 GHz adalah -31,09 dB dan memiliki *bandwidth* 0,082 GHz, artinya penggunaan slot *double F* pada *patch* mikrostrip dan pencatutan *proximity* menghasilkan peningkatan *bandwidth* sebesar 5,1% serta dapat meningkatkan nilai *returnloss* dan menurunkan VSWR secara signifikan.
2. Antena hasil pengukuran menghasilkan nilai *return loss* sebesar -32,82 dB pada frekuensi tengah 2,4 GHz serta *bandwidth* antenna adalah 0,12 GHz yang artinya meningkat sebesar 48,7% dari hasil simulasi.
3. VSWR yang diperoleh dari hasil simulasi adalah 1,057 dan pengukuran adalah 1,045. Hal ini membuktikan antenna mikrostrip yang telah dibuat memenuhi syarat karakteristik antenna yang baik karena nilai VSWR < 2 . dan mendekati 1 sehingga mendekati kondisi *match* terhadap saluran transmisinya .
4. *Gain* yang dihasilkan dari hasil pengujian cukup besar yaitu 5,97 dBi atau 7,7 kali penguatan dengan pola radiasi *omnidirectional*, sedangkan pada hasil simulasi direktivitas pada *main lobe* terbesar memiliki *gain* sebesar 6,85 dBi.
5. Dengan waktu iterasi yang sama maka semakin besar nilai variabel a (jarak antara slot dengan tepi bawah *patch* semakin lebar) maka arus akan semakin menyebar ke tepi *patch*, hal ini dibuktikan dengan bertambahnya intensitas arus di tepi *patch* tetapi berkurang pada pusat *patch* antenna yaitu dengan 0,8 A/m saat jarak $a = 2$ mm dan 0,4 A/m pada jarak $a = 5$ mm.

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh, perubahan nilai c mengakibatkan pengaruh terhadap penyebaran arus antenna. Semakin besar nilai c maka mengakibatkan dimensi lebar slot menjadi semakin sempit dan arus pada pusat antenna semakin berkurang seiring dengan bertambahnya nilai c , hal itu terbukti pada saat $c = 8$ mm dan $c = 9$ mm arus yang ada pada *patch* sebesar 0,6 A/m sedangkan pada $c = 10$ mm dan $c = 11$ mm arus berkurang menjadi 0,5 A/m.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Tim Laboratorium Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan Laboratorium Politeknik Kota Malang atas penggunaan peralatan laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Archevapanich, J. Nakasuwan, N. Songthanapitak, N. Anantrasirichai, and T. Wakabayashi "E-shaped slot antenna for WLAN applications", *PIERS Online*, vol. 3, no. 7, pp. 1119-1123, 2007.
- [2] S. Kumar, A. K. Saurabh, and N. S. Beniwal, "Dual band H shaped rectangular microstrip patch antenna for WLAN/WiMAX/bluetooth applications", *International Journal of Advanced Research in Electrical Electronics and Instrumentation Engineering*, vol. 3, iss. 3, pp. 8220-8227, March 2014.
- [3] A. Haidery, R. Tawde, and T. Shaikh, "L-slot rectangular microstrip patch antenna for WiMAX and WLAN applications", *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 3, iss. 10, pp. 471-474, Oct 2013.
- [4] M. Ravi and A. Janardhana "Design & performance analysis of double U-slot microstrip antenna for WiMAX application", *International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE)*, vol. 3, iss. 8, pp. 790-795, August 2014.
- [5] R. S. Rathore, S. Baudha, and Shrikant Pandey, "A 2.4 GHz microstrip patch antenna with a single slot for WLAN application", *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*, vol. 1, iss. 4, pp. 139-141, June 2012.
- [6] B. Thili, "Design of double c-slot microstrip patch antenna for WiMax application", in *Proceedings of 2010 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI)*, July 2010, pp. 1-4.
- [7] D. K. Karmokar and K. M. Morshed, "Analysis of inverted F and loaded inverted F antenna for 2,4 GHz ISM band application", *Journal of Electrical Engineering The Institution of Engineers Bangladesh*, vol. EE 36, no. II, pp. 4-9, December 2009.
- [8] D. Sugumar, S. Sydney, D. Athina, and T. J. Selvahephzibah, "Bandwidth enhancement of coaxial feed U slotted microstrip antenna modeled with FDTD algorithm", in *Proceedings of IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research*, 2010.
- [9] J. T. S. Sumantyo, K. Ito, E. T. Rahardjo, dan K. Saito, *Metoda Beda Hingga Kawasan Waktu*, Bandung, Indonesia: Penerbit ITB, 2004.
- [10] A. N. Mahmud, S. S. Obayya, A. A. Mitkees, and H. A. Elmikati, "FDTD analysis of a rectangular patch antenna on a general uniaxial anisotropic dielectric substrate". in *Proceedings of Eighteen National Radio Science Conference*, Mar 2001, pp. 131-141 (vol.1).
- [11] D. M. Sullivan, *Electromagnetic Simulation Using The FDTD Method*, New York, USA: John Wiley & Sons Inc., 2000.
- [12] N. Suherman, "Analisis dan pabriksi mikrostrip horn dilengkapi reflektor parabola dengan metode FDTD", Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2008.
- [13] A. Hajiaboli, M. Popović, and F. H. Kashani, "Analysis of coaxial-fed electromagnetically coupled patch antenna using FDTD", in *Proceedings of IEEE 2005 Antennas and Propagation Society International Symposium*, July 2005, pp. 138-141 (vol. 1A).
- [14] C. A. Balanis, *Antena Theory: Analysis Design*, 3rd ed., New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2005.