

Antena Mikrostrip *Multilayer* Parasitik pada Frekuensi *C Band* Radar Cuaca

HANNY MADIAWATI, RIDWAN RAHMANSYAH, ASEP BARNAS
SIMANJUNTAK

Program Studi Teknik Telekomunikasi Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Bandung, Indonesia
Email: hannymadiawati@polban.ac.id

Received 22 Juni 2023 | *Revised* 14 Juli 2023 | *Accepted* 15 Agustus 2023

ABSTRAK

Radio Detection and Ranging (RADAR) merupakan teknologi yang berfungsi untuk mendeteksi, mengukur jarak dan memetakan objek. Salah satu jenis sistem radar adalah sistem radar cuaca yang mempunyai frekuensi C band dengan rentang 5.250 – 5.725 GHz. Komponen utama dalam sistem radar adalah antena. Antena mikrostrip memiliki ukuran kecil, tipis dan mudah diintegrasikan. Namun memiliki masalah bandwidth yang rendah yaitu sebesar 3-5%. Untuk meningkatkan bandwidth antena mikrostrip ini digunakan metode multilayer parasitik. Pada penelitian ini berhasil diperoleh peningkatan bandwidth pada hasil simulasi sebesar 7.1%. Sedangkan setelah realisasi diperoleh peningkatan bandwidth sebesar 39.6%. Pada hasil realisasi antena mikrostrip multilayer parasitik pada frekuensi C band radar cuaca diperoleh hasil pengukuran band frekuensi 5.187 – 5.912 GHz, bandwidth 725.8 MHz, gain 6.99 dB dan pola radiasi unidireksional.

Kata kunci: Antena Mikrostrip, C Band, Multilayer, Parasitik, Radar Cuaca

ABSTRACT

Radio Detection and Ranging (RADAR) is a technology that functions to detect, measure distance and map objects. One type of radar system is a weather radar system that has a C band frequency with a range of 5,250 - 5,725 GHz. The main component in a radar system is the antenna. Microstrip antennas are small, thin and easy to integrate. However, it has a low bandwidth problem of 3-5%. To increase the bandwidth of this microstrip antenna, the parasitic multilayer method is used. In this study, an increase in bandwidth was successfully obtained in simulation results of 7.1%. Meanwhile, after realization, an increase in bandwidth of 39.6% was obtained. In the realization of the parasitic multilayer microstrip antenna at the C band frequency of the weather radar, the measurement results of the frequency band 5.187 - 5.912 GHz, bandwidth 725.8 MHz, gain 6.99 dB and unidirectional radiation pattern were obtained.

Keywords: Microstrip Antenna, C Band, Multilayer, Parasitic, Weather Radar

1. PENDAHULUAN

Radio Detection and Ranging (RADAR) merupakan teknologi yang berfungsi untuk mendeteksi, mengukur jarak dan memetakan objek. Salah satu rentang frekuensi yang dapat bekerja dalam sistem radar adalah frekuensi *C band*. Frekuensi ini banyak digunakan dalam komunikasi satelit, sistem radar cuaca, beberapa perangkat *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) bahkan sistem pengawasan sekalipun. Menurut *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), *C band* berada pada rentang frekuensi 4 – 8 GHz (**Abouelnaga, dkk, 2020**). Frekuensi *C band* untuk sistem radar cuaca menurut *International Telecommunication Union* (ITU) berada pada rentang 5.250 – 5.725 GHz, tetapi pada umumnya lebih sering menggunakan frekuensi 5.6 – 5.65 GHz (**International Telecommunication Union, 2009**).

Pengembangan sistem radar tidak lepas dari suatu perangkat yaitu antena. Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang sering dijadikan bahan penelitian. Antena mikrostrip mempunyai karakteristik ukuran kecil, tipis, mudah diintegrasikan serta mampu bekerja pada frekuensi tinggi (**Ardianto, dkk, 2019**). Namun, antena mikrostrip mempunyai kekurangan yaitu masalah pada *bandwidth*, di mana biasanya hanya dapat menghasilkan *bandwidth* sebesar 3-5% (**Hidayat, 2012**). Terdapat beberapa metode yang dapat meningkatkan *bandwidth* pada antena mikrostrip antara lain *proximity*, *log periodic*, dan *parasitic* (**Alam, dkk, 2020**). Selain itu, dengan meningkatkan ketebalan substrat maka *bandwidth* antena dapat meningkat (**Balanis, 2016**).

Telah dilakukan pada beberapa penelitian sebelumnya untuk meningkatkan *bandwidth* dari antena mikrostrip. Beberapa metode seperti penambahan *layer* pada antena dan menggunakan elemen parasitik dapat membantu meningkatkan *bandwidth*. Seperti pada penelitian Dwi Utami (**Dwi Utami, dkk, 2019**) dan timnya, mengenai antena mikrostrip *multilayer* dengan dua *layer* parasitik mampu meningkatkan *bandwidth* sebesar 10% dari 85.8 MHz menjadi 245 MHz. Lalu, penelitian lainnya yang dilakukan oleh Nornikman (**Nornikman, dkk, 2018**) dan timnya, telah membuat rancangan antena mikrostrip *dual layer* ditambahkan elemen parasitik di atasnya dari hasil modifikasi bentuk dasar antena *single layer*. Penelitian yang dilakukan berhasil meningkatkan *bandwidth* dari 39 MHz menjadi 97 MHz. Penelitian oleh Ramdhani (**Ramadhani, dkk, 2021**) dan timnya, merancang dan mensimulasikan antena mikrostrip sirkular menggunakan teknik *slot loading* dan *multilayer*. Hasil simulasi yang diperoleh yaitu terjadi peningkatan *bandwidth* dari 58.3 MHz menjadi 77.6 MHz. Dalam penelitian Christviyana (**Christviyana, dkk, 2019**) dan timnya, mengenai antena *array 2x2* polarisasi ganda untuk radar cuaca *X band* menghasilkan *bandwidth* yang cukup kecil yaitu 63 MHz pada *port 1* dan 65 MHz pada *port 2*. Penelitian lainnya, mengenai antena vivaldi konvensional untuk radar cuaca pada 9.4 GHz yang dilakukan oleh Rianza (**Rianza, dkk, 2022**) dan timnya, *gain* yang dihasilkan antara simulasi dan pengukuran terjadi penurunan cukup signifikan yaitu dari 6.2 dB menjadi 3.99 dB. Pada penelitian ini, dirancang dan direalisasikan antena mikrostrip menggunakan metode *multilayer* parasitik yang bekerja pada frekuensi *C band* radar cuaca. Penggunaan *multilayer* parasitik bertujuan untuk meningkatkan *bandwidth* yang dihasilkan oleh antena mikrostrip.

2. METODOLOGI

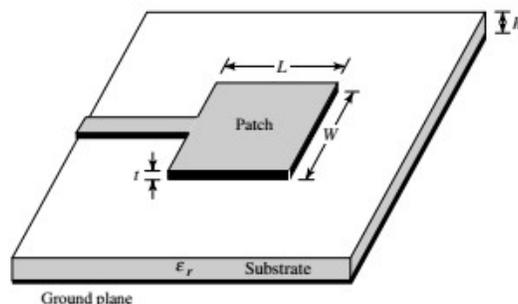
2.1 Radar Cuaca

Radar adalah salah satu teknologi yang berkembang saat ini. Teknologi ini mempunyai potensi untuk menggantikan kemampuan mata manusia dalam memetakan objek dari jarak yang jauh. Radar merupakan teknologi gelombang elektromagnetik yang berfungsi untuk mendeteksi, mengukur jarak dan memvisualisasikan suatu benda (**Skolnik, 2008**). Radar cuaca adalah alat yang berguna dalam mendeteksi, menganalisis dan memprediksi kondisi cuaca. Berdasarkan data yang berasal dari *International/Telecommunication Union* (ITU), radar cuaca dapat bekerja pada tiga frekuensi berbeda yaitu *S-band* (2700 – 2900 MHz), *C-band* (5250 – 5725 MHz) dan *X-band* (9300 – 9500 MHz). Pada frekuensi *C-band* mempresentasikan jangkauan dan reflektifitas yang baik serta dapat memberikan pendeteksian hujan hingga 200 km (**International Telecommunication Union, 2009**).

2.2 Antena Mikrostrip

Menurut *IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas*, antena diartikan sebagai sarana untuk memancarkan atau menerima gelombang radio. Antena mikrostrip mempunyai karakteristik profil rendah yang dapat disesuaikan dengan permukaan planar dan non-planar, sederhana dan sangat berguna dalam berbagai hal seperti resonansi frekuensi, pola polarisasi dan impedansi (**Balanis, 2016**). Kelebihan dari antena mikrostrip adalah bersifat *low profile* jika dibandingkan dengan antena *full-sized*, harga yang relatif murah karena menggunakan material yang mudah digunakan dan biaya fabrikasi rendah serta mudah dibentuk menjadi elemen *array*. Sedangkan kekurangannya adalah mempunyai *gain* yang rendah, *bandwidth* yang rendah dan penanganan daya rendah (**Dahlan & Kamarudin, 2010**).

Pada Gambar 1 menunjukkan struktur antena mikrostrip yang terdiri dari *groundplane* untuk reflektor gelombang elektromagnetik, substrat dielektrik berguna untuk menyalurkan gelombang elektromagnetik dan *patch* yang merupakan elemen peradiasi (**Balanis, 2016**).



Gambar 1. Struktur Antena Mikrostrip (Balanis, 2016)

Salah satu bentuk *patch* dari antena mikrostrip adalah bentuk *rectangular patch*. Persamaan matematis yang digunakan untuk menghitung dimensi antena bentuk *rectangular patch* ditunjukkan pada persamaan berikut (**Balanis, 2016**):

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2\Delta_L \quad (1)$$

$$W = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left(\left[1 + \frac{12h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\Delta_L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff}+0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff}-0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (4)$$

Dengan L adalah panjang *patch* dan W adalah lebar *patch*, f_r adalah frekuensi resonansi, c adalah kecepatan cahaya ruang hampa (3×10^8 m/s), ϵ_r adalah permitivitas relatif bahan, ϵ_{eff} adalah permitivitas efektif konstan, h adalah ketebalan substrat dan Δ_L adalah perubahan panjang L .

2.3 Metode Parasitik

Metode parasitik salah satu metode yang digunakan pada antenna mikrostrip yang bertujuan untuk meningkatkan atau memperlebar *bandwidth* dengan menambahkan beban pada *patch* antenna. Namun, metode ini juga mempunyai kelemahan yaitu dapat meningkatkan ketebalan jumlah substrat dan berat struktur antenna, serta fabrikasi pencatutan lebih sulit (**Kurniawan, dkk, 2017**). Untuk mempertahankan karakteristik dari antenna mikrostrip yang *low profile* maka jumlah elemen parasitik harus dijaga seminimal mungkin. Dengan penambahan elemen parasitik di lapisan yang berbeda dapat meningkatkan *bandwidth* antenna berdasarkan dimensi dari elemen parasitiknya (**Dahlan & Kamarudin, 2010**). Selain untuk meningkatkan *bandwidth*, penggunaan metode *multilayer* parasitik dapat meningkatkan *gain* juga karena pada antenna mikrostrip satu *patch* nilai *gain* yang dihasilkan tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan antenna susunan ditambah parasitik (**Medina & Edwar, 2018**).

2.4 Pencatutan Antena

Catutan antenna berfungsi sebagai saluran yang menjadi sebuah perantara antara *patch* dengan antenna. Teknik pencatutan pada antenna terdapat beberapa jenis, misalnya pencatutan *microstrip feedline*, *coaxial probe*, *aperture coupled*, *proximity coupled* dan *coplanar waveguide* (CPW) (**Rambe, 2012**). Tujuan dari teknik catutan pada antenna adalah untuk mengefisienkan transfer daya pada struktur *feeding* dan peradasi, lalu keadaan *matched* harus terpenuhi pada impedansi keduanya (**Ardianto, dkk, 2019**).

Pada penelitian ini, digunakan teknik pencatutan *proximity coupled*. Teknik pencatutan *proximity coupled* termasuk ke dalam pencatutan yang dapat meningkatkan *bandwidth* dan mudah untuk dimodelkan (**Aulia & Elisma, 2021**). Persamaan matematis yang digunakan untuk menghitung lebar dan panjang dari pencatutan *proximity coupled* adalah sebagai berikut (**Balanis, 2016**):

$$W_f = \begin{cases} \frac{8h e^A}{e^{2A}-2} \left| \frac{W}{h} < 2 \right| \\ \left(\frac{2h}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} (\ln B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right) \left| \frac{W}{h} > 2 \right| \end{cases} \quad (5)$$

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (6)$$

$$B = \frac{60 e^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (7)$$

$$L_f = \frac{\lambda_g}{4} \quad (8)$$

$$\lambda_g = \frac{c/f}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (9)$$

dengan W_f adalah lebar pencatuan (mm), ϵ_r adalah permitivitas relatif, h adalah tinggi substrat, Z_0 adalah impedansi catuan (Ω), dan L_f adalah panjang pencatuan (mm).

2.5 Spesifikasi Antena

Spesifikasi antena ini ditunjukkan pada Tabel 1 berikut:

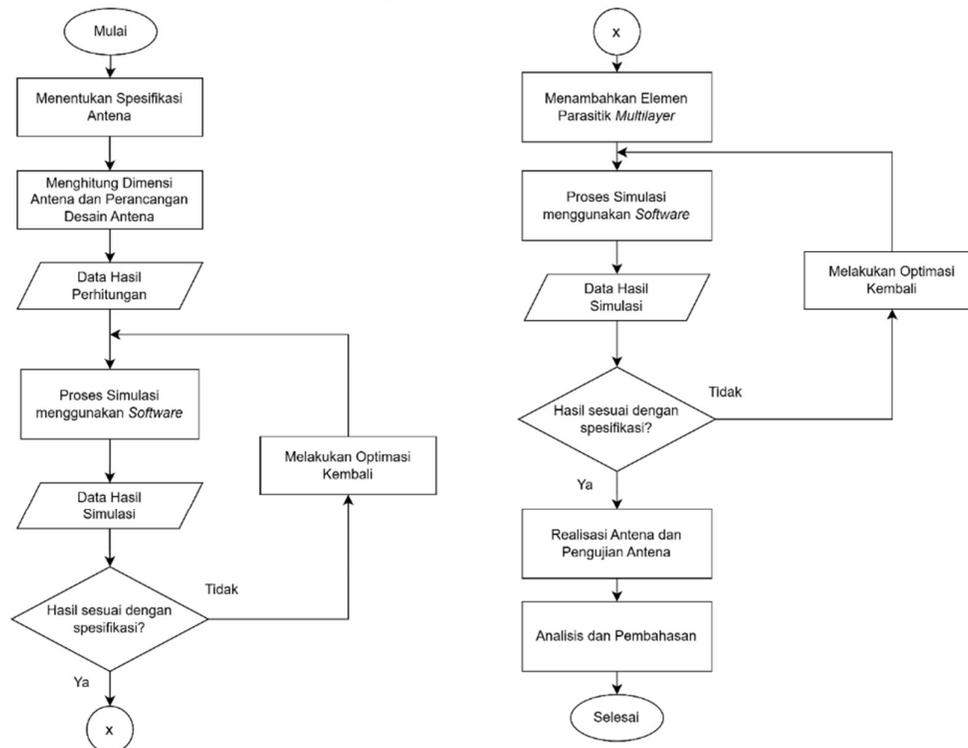
Tabel 1. Spesifikasi Antena

Parameter	Spesifikasi
Frekuensi Kerja	5.250 – 5.725 GHz
<i>Bandwidth</i> pada 10 dB	> 475 MHz
<i>Gain</i>	≥ 5 dB
Pola Radiasi	Unidireksional

Dalam perancangannya, antena pada penelitian ini menggunakan substrat dengan bahan Rogers Duroid 5880. Rogers Duroid 5880 mempunyai karakteristik yaitu permitivitas bahan $\epsilon_r = 2.2$, ketebalan bahan $h = 1.575$ mm dan tangensial loss ($\tan \delta$) = 0.0009.

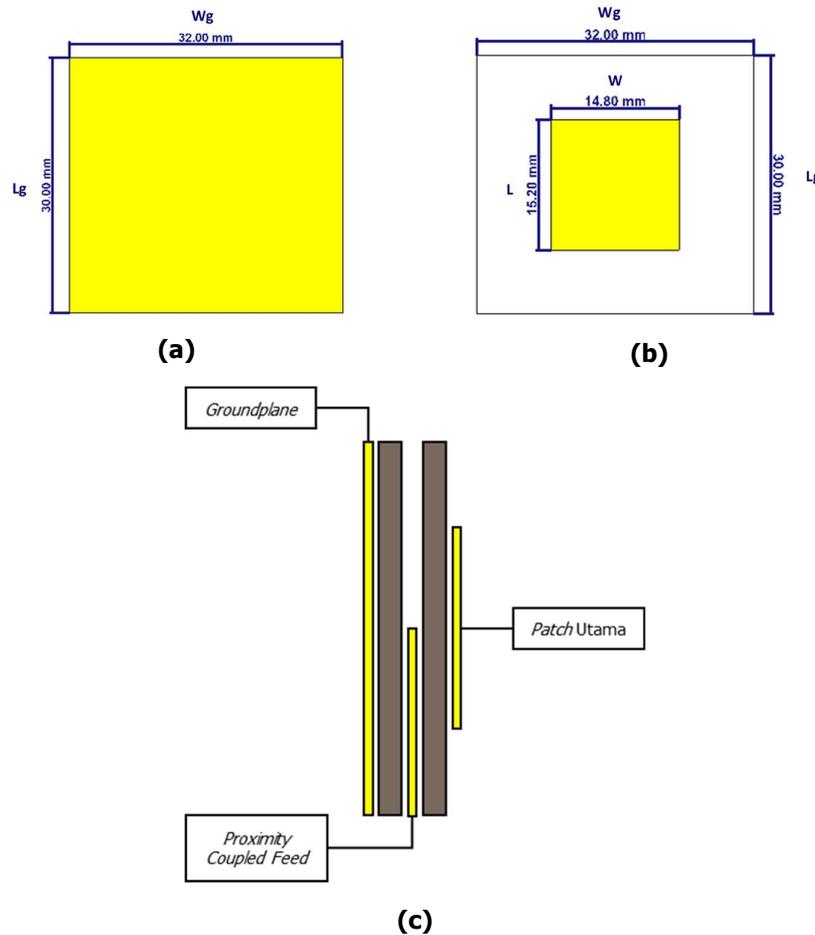
2.6 Perancangan Antena

Perancangan antena pada penelitian ini diawal dengan menentukan spesifikasi dan menghitung dimensi antena menggunakan persamaan matematis sebelumnya. Hasil perhitungan tersebut lalu digunakan untuk desain antena yang akan disimulasikan dalam *software*. Desain antena awal yaitu antena yang tidak menggunakan *patch* parasitik di substrat yang berbeda. Hal ini bertujuan untuk melihat pengaruh penggunaan *patch* parasitik nantinya. Selama proses simulasi berjalan, jika mendapatkan hasil yang belum memenuhi spesifikasi perlu dilakukan optimasi kembali pada antena tersebut. Parameter terukur yang diuji pada penelitian ini adalah rentang frekuensi, *bandwidth*, *gain* dan pola radiasi. Pada Gambar 2 berikut ini menunjukkan diagram alir perancangan antena dalam penelitian ini.



Gambar 2. Diagram Alir Perancangan Antena

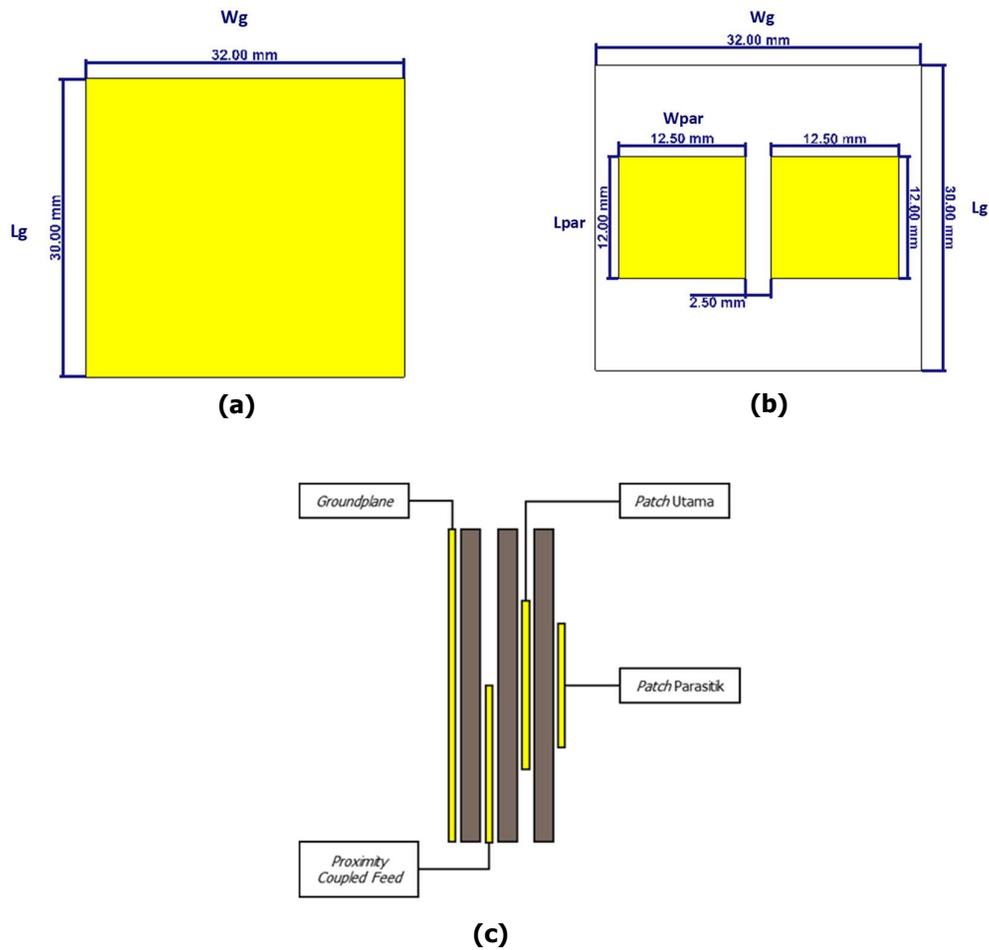
Lalu, Gambar 3 dan 4 menunjukkan desain antenna mikrostrip tanpa penggunaan *layer* parasitik dan penggunaan *layer* parasitik dua elemen secara berturut-turut. Data hasil pengoptimasian dan telah memenuhi spesifikasi dari antenna mikrostrip *multilayer* parasitik dua elemen tersaji pada Tabel 2.



Gambar 3. Desain Antena tanpa *Layer* Parasitik (a) Tampak Belakang (b) Tampak Depan (c) Tampak Samping

Tabel 2. Dimensi Antena *Multilayer* Parasitik Dua Elemen

Parameter	Dimensi (mm)	Keterangan
L_g	30	Panjang <i>Groundplane</i>
W_g	32	Lebar <i>Groundplane</i>
L	15	Panjang Patch
W	15	Lebar Patch
L_{par}	12	Panjang Patch Parasitik
W_{par}	12.5	Lebar Patch Parasitik
W_f	6	Lebar Pencatuan
L_f	13.5	Panjang Saluran Pencatu
t	0.035	Tebal Konduktor
h	1.575	Ketebalan Substrat



Gambar 4. Desain Antena dengan *Layer* Parasitik Dua Elemen (a) Tampak Belakang; (b) Tampak Depan; (c) Tampak Samping

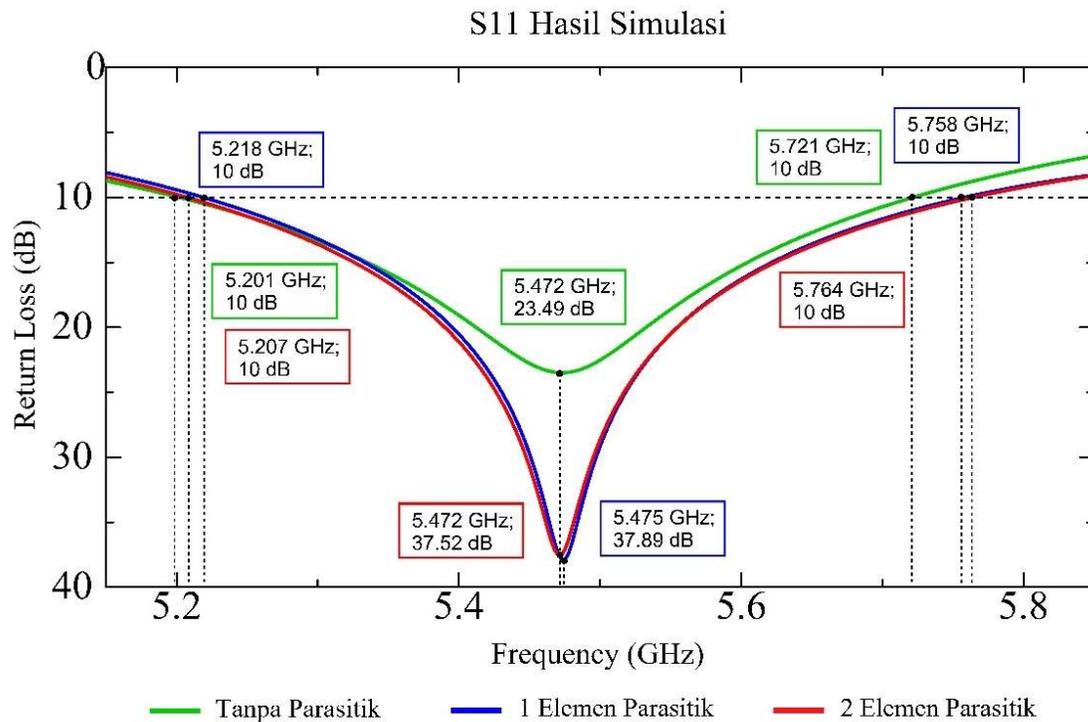
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Simulasi

Pada hasil simulasi dari antena mikrostrip *multilayer* tanpa parasitik hingga menggunakan parasitik dua elemen tersaji pada Gambar 5 dan Tabel 3. Parameter terukur antara lain S-Parameter, *bandwidth*, *gain* dan pola radiasi.

Tabel 3. Tabel Perbandingan Hasil Simulasi

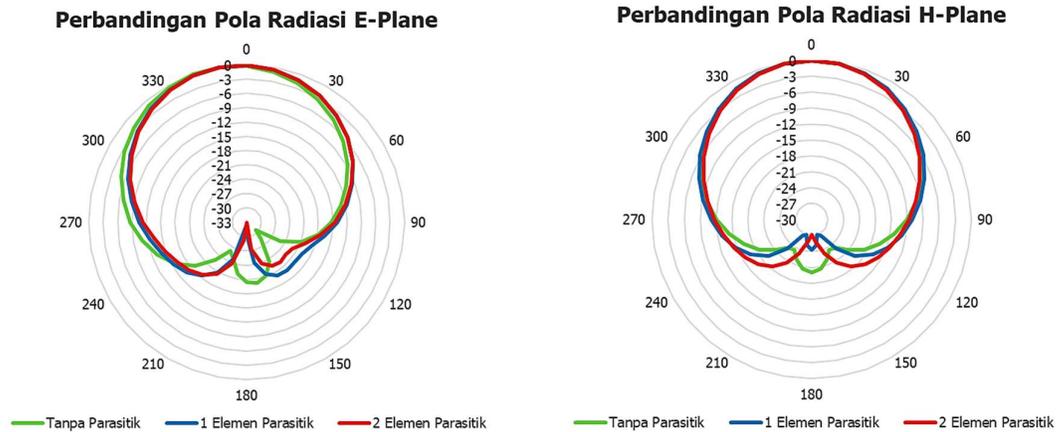
Parameter	Tanpa Parasitik	Dengan Parasitik	
		1 Elemen	2 Elemen
Rentang Frekuensi (GHz)	5.201 – 5.721	5.218 – 5.758	5.207 – 5.764
Bandwidth (MHz)	519.8	539.1 MHz	556.7 MHz
Gain (dB)	7.075 dB	7.190 dB	7.500 dB



Gambar 5. Perbandingan Hasil Simulasi Grafik S-Parameter

Berdasarkan data tersebut, terjadi peningkatan *bandwidth* dari antenna *multilayer* tanpa parasitik hingga menggunakan parasitik dua elemen. Nilai *bandwidth* jenis antenna tanpa menggunakan *layer* parasitik adalah 519.8 MHz, lalu antenna yang menggunakan satu elemen parasitik mempunyai *bandwidth* sebesar 539.1 MHz, terjadi kenaikan sebesar 3.7% dari antenna tanpa parasitik. Kemudian, antenna dengan dua elemen parasitik *bandwidth* yang dimilikinya adalah 556.7 MHz, terjadi kenaikan *bandwidth* sebesar 3.2% dari antenna jenis parasitik satu elemen.

Begitu pula dengan *gain*, pada antenna tanpa menggunakan *layer* parasitik didapat nilai *gain* sebesar 7.075 dB, kemudian pada antenna dengan satu elemen parasitik mempunyai nilai *gain* sebesar 7.19 dB, terjadi kenaikan *gain* sebesar 1.6%. Lalu, pada antenna dengan dua elemen parasitik mempunyai nilai *gain* sebesar 7.5 dB, dan terjadi kenaikan *gain* sebesar 4.3% dari antenna jenis sebelumnya. Artinya, dengan metode penambahan elemen parasitik di substrat yang berbeda pada perancangan antenna ini dapat meningkatkan *bandwidth* dan *gain*. Parameter terukur lainnya adalah pola radiasi, di mana terdapat nilai HPBW dari pola radiasi *E-plane* dan *H-plane*. Hasil pola radiasi *E-Plane* dan *H-Plane* dari ketiga jenis rancangan antenna dalam penelitian ini tersaji pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan Hasil Simulasi Pola Radiasi

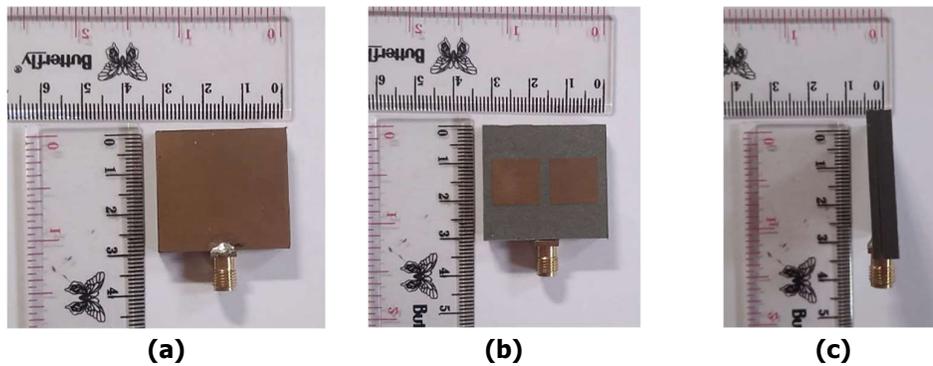
Tabel 4. Perbandingan HPBW Hasil Simulasi

Parameter	Tanpa Parasitik	Dengan Parasitik	
		1 Elemen	2 Elemen
HPBW <i>E-plane</i> (°)	84.2	82.5	81.2
HPBW <i>H-plane</i> (°)	82.5	83.8	77.7

Berdasarkan Gambar 6, pola radiasi yang dihasilkan dari ketiga jenis rancangan antena yang telah disimulasikan bersifat unidireksional. Lalu, nilai HPBW *E-Plane* dan *H-Plane* seperti tersaji pada Tabel 4, terjadi beberapa perubahan nilai.

3.2 Hasil Pengujian

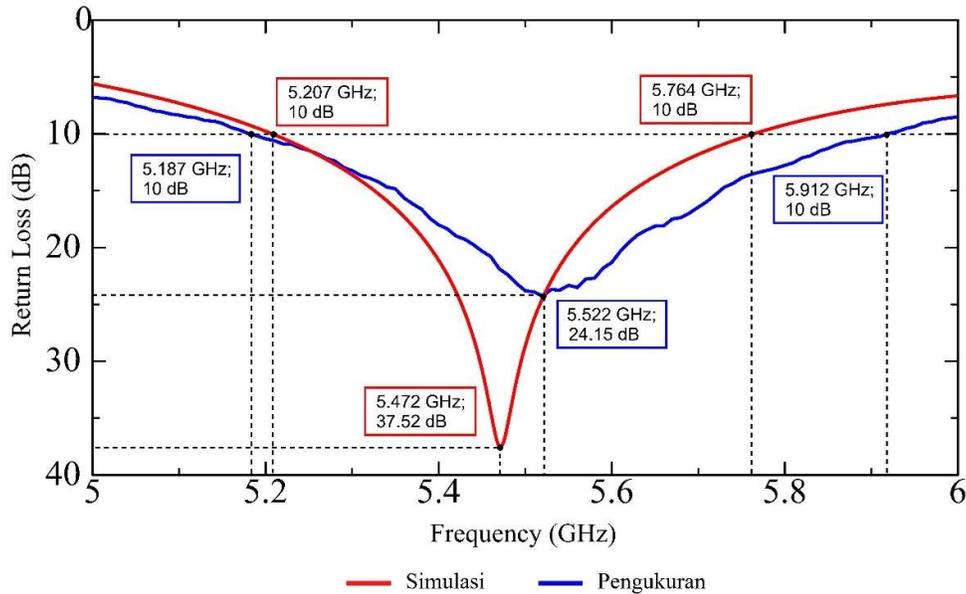
Pada Gambar 7 menunjukkan desain antena yang telah difabrikasi sesuai dengan dimensi pada perancangan sebelumnya.



Gambar 7. Desain Antena setelah Fabrikasi
(a) Tampak Belakang; (b) Tampak Depan; (c) Tampak Samping

Hasil pengukuran dari antena yang telah difabrikasi dibandingkan dengan antena yang disimulasikan sebelumnya. Terlihat pada Gambar 8 yang merupakan grafik perbandingan S-Parameter antara hasil simulasi dan pengukuran antena.

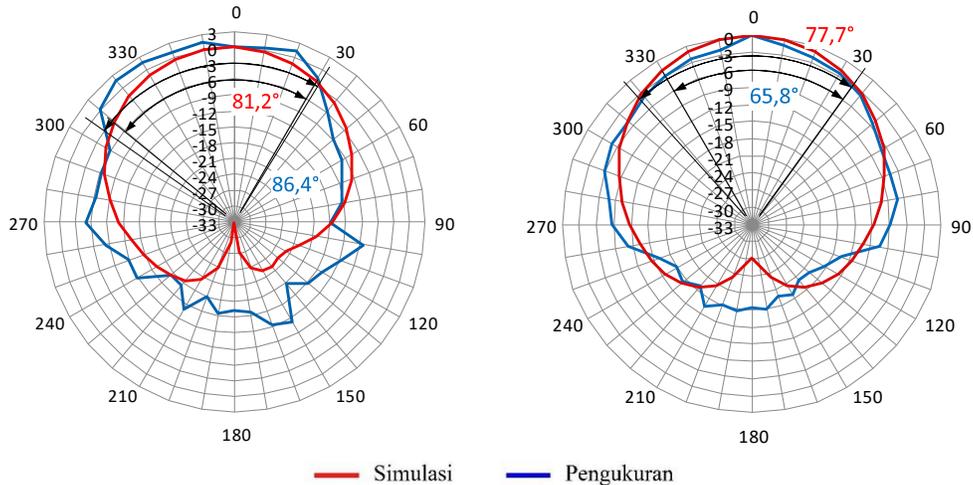
Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran



Gambar 8. Perbandingan Grafik S-Parameter Hasil Simulasi dan Pengukuran

Perbandingan Pola Radiasi E-Plane

Perbandingan Pola Radiasi H-Plane



Gambar 9. Perbandingan Pola Radiasi Hasil Simulasi dan Pengukuran

Pada Gambar 8, grafik hasil pengukuran mempunyai nilai frekuensi bawah sebesar 5.187 GHz dan nilai frekuensi atas sebesar 5.912 GHz, sehingga *bandwidth* yang didapatkan dari hasil pengukuran adalah 725.8 MHz. Terjadi kenaikan *bandwidth* sebesar 30.37% dari hasil simulasi. Lalu, nilai *gain* yang didapatkan dari hasil pengukuran adalah sebesar 6.99 dB sedangkan pada hasil simulasi 7.55 dB. Terjadi perbedaan sebesar 6.8% antara hasil simulasi dan pengukuran. Parameter lainnya adalah pola radiasi yang dapat dilihat pada Gambar 9, dari hasil keduanya antara hasil simulasi dan pengukuran menghasilkan pola radiasi yang bersifat unidireksional.

4. KESIMPULAN

Perancangan dan pengujian antena mikrostrip *multilayer* parasitik pada frekuensi C *band* radar cuaca telah disajikan. Berdasarkan hasil simulasi, dengan penambahan elemen parasitik di substrat yang berbeda mengakibatkan kenaikan *bandwidth* dan *gain*. Pada antena tanpa menggunakan *layer* parasitik mempunyai *bandwidth* 519.8 MHz dan *gain* 7.075 dB, sedangkan pada antena yang menggunakan *layer* parasitik dua elemen mempunyai *bandwidth* 556.7 MHz dan *gain* sebesar 7.5 dB, terjadi kenaikan *bandwidth* 7.09% dan *gain* 6%. Pada hasil pengukuran, *bandwidth* yang didapatkan sebesar 725.8 MHz dan *gain* 6.99 dB. Antara hasil simulasi dengan pengukuran *bandwidth* terjadi kenaikan sebesar 30.37% dan *gain* juga terdapat perbedaan sebesar 6.8%. Pola radiasi yang dihasilkan dari hasil simulasi dan pengukuran, keduanya menghasilkan pola radiasi unidireksional. Hasil pengukuran menunjukkan hasil yang sangat berbeda dengan hasil simulasi karena adanya perbedaan karakteristik bahan pada frekuensi tertentu, sehingga pada penelitian ini terjadi peningkatan *bandwidth* yang cukup signifikan antara hasil simulasi dan pengukuran yaitu sebesar 39.6%. Walaupun demikian, hasil dari pengujian ini telah memenuhi spesifikasi awal.

DAFTAR RUJUKAN

- Abouelnaga, T. G., Tayel, M. B., & Desouky, A. F. (2020). High Gain UWB Four Elements Antenna Array for C-Band and X-Band Application. *Open Journal of Antennas and Propagation*, 8(2), 19-29.
- Alam, S., Rizka, N. M., Surjati, I., & Marlina, P. D. (2020). Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Rectangular dengan Metode Parasitic untuk Meningkatkan Bandwidth. *Jurnal TEKTRIKA*, 5(1).
- Ardianto, F. W., Reynaldy, S., Lanang, F. F., & Yunita, T. (2019). Desain Antena Mikrostrip Rectangular Patch Array 1x2 dengan U-Slot Frekuensi 28 GHz. *ELKOMIKA*, 7(1), 43-56.
- Aulia, N., & Elisma. (2021). Desain Antena Mikrostrip Array 2x4 dengan Teknik Pencatutan Proximity Coupled untuk Aplikasi 5G pada Frekuensi 2,6 GHz. *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar*. Bandung, (pp.717-723).
- Balanis, C. A. (2016). *Antena Theory Analysis and Design 4rd Edition*. USA: Wiley.
- Christiyana, D., Wijanto, H., & Saputera, Y. P. (2019). Antena Array 2x2 dengan Polarisasi Ganda untuk Radar Cuaca X-Band. *e-Proceeding of Engineering*, (pp. 3550).
- Dahlan, A. M., & Kamarudin, M. R. (2010). Shorted Microstrip Patch Antenna with Parasitic Element. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 24(2-3), 327-339.
- Dwi Utami, E. Y., Prabelia, C., Setiaji, F. D., & Wahyu, Y. (2019). Peningkatan Gain dengan Teknik Multilayer Parasitic pada Perancangan Antena Mikrostrip Persegi Panjang 2,4 GHz. *ELKHA: Jurnal Teknik Elektro*, 11(2), 72-78.
- Hidayat, T. (2012). *Rancang Bangun Antena Mikrostrip Susun Menggunakan Jenis Pencatutan Aperture Coupled dengan Slot berbentuk Jam Pasir*. Depok: Universitas Indonesia.

- International Telecommunication Union. (2009, September). *Weather, Water and Climate Monitoring and Prediction*. Dipetik 12 23, 2022, dari https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/md/09/sem.wmo/c/R09-SEM.WMO-C-0018!!PDF-E.pdf
- Kurniawan, A., Alam, S., & Surjati, I. (2017). Perancangan Antena Mikrostrip Beban Parasitic untuk Aplikasi ISM Band 2.45 GHz. *Seminar Nasional Microwave Antena dan Propagasi (SMAP)*, (pp.173-177).
- Medina, F. R., & Edwar. (2018). Perancangan dan Simulasi MultiLayer Parasitic Antena Array Mikrostrip 1x2 Dengan Patch Persegi Untuk Aplikasi 2,45 Ghz. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. Bandung, (pp.1-11).
- Nornikman, H., Ahmad, B. H., Abdul Aziz, M. Z., & Bakar, H. A. (2018). Dual Frequencies Band and Enhanced Wideband Effect of Dual Layer Microstrip Patch Antenna with Parasitic. *Journal of Physics Conference Series*, 1049.
- Ramadhani, S., Wijanto, H., & Edwar. (2021). Antena Mikrostrip Sirkular dengan Slot Loading Technique dan Multi Layers Substrate untuk Receiver GPS. *e-Proceeding of Engineering*, 8(2), 1278.
- Rambe, A. H. (2012). Antena Mikrostrip:Konsep dan Aplikasinya. *JITEKH (Jurnal Ilmiah Teknologi Harapan)*, 1(1), 86-92.
- Rianza, R., Septima, U., Dahlan, A. A., Firdaus, Nasrul, Yulindon, & Yustini. (2022). Antena Vivaldi Konvensional untuk Penerapan pada Radar Cuaca (9.4 GHz). *Elektron Jurnal Ilmiah*, 1-6.
- Skolnik, M. (2008). *Radar Handbook*. USA: The McGraw-Hill Companies.