

Antena Mikrostrip *Circular Patch* untuk Aplikasi Radar Altimeter pada Frekuensi C-Band Menggunakan Metode Parasitik

Siti Latifah¹ dan Hanny Madiawati¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Kabupaten Bandung Barat, Indonesia

siti.latifah.tkom19@polban.ac.id, hannymadiawati@polban.ac.id

Abstrak

Saat ini mobilitas manusia serta lalu lintas antar daerah maupun antar negara semakin meningkat, hal tersebut menuntut dunia penerbangan untuk semakin berkembang pula. Salah satu perkembangan pada dunia penerbangan yaitu teknologi radar altimeter sebagai sistem navigasi pesawat yang bekerja pada rentang frekuensi 4,2 – 4,4 GHz. Pada penelitian ini telah dilakukan realisasi antena mikrostrip dengan *patch* berbentuk lingkaran pada frekuensi C-band dengan penambahan elemen parasitik dan pencatuan *proximity coupled* untuk memperkuat *gain* serta memperlebar *bandwidth*. Antena yang dibuat menggunakan bahan Rogers RT5870 yang memiliki konstanta dielektrik 2,33, dengan ketebalan bahan 1,575 mm dan *loss tangent* 0,0012. Hasil pengukuran didapatkan lebar *bandwidth* 300 MHz lebih sempit 3,54% dibanding hasil simulasi sedangkan *gain* lebih besar 4,79% menjadi 8,13 dBi serta pola radiasi *unidirectional*. Parameter-parameter tersebut telah memenuhi spesifikasi antena yang sudah dibuat.

Kata kunci: antena mikrostrip, *patch circular*, radar altimeter, *proximity coupled*, parasitik.

Abstract

Currently, human mobility and traffic between regions and between countries are increasing, this requires the world of aviation to grow as well. One of the developments in the world of aviation is radar altimeter technology as an aircraft navigation system that works in the frequency range of 4.2 - 4.4 GHz. In this research, the realization of a microstrip antenna with a circular patch on the C-band frequency has been carried out with the addition of parasitic elements and proximity coupled feeding to strengthen the gain and widen the bandwidth. The antenna is made using Rogers RT5870 material which has a relative permittivity of 2.33, a material thickness of 1.575 mm and a loss tangent of 0.0012. The measurement results show that the bandwidth of 300 MHz is 3.54% narrower than the simulation results, while the gain is 4.79% to 8.13 dBi and the radiation pattern is unidirectional.

Keywords: microstrip antenna, circular patch, radar altimeter, proximity coupled, parasitic.

1. Pendahuluan

Antena merupakan suatu elemen penting yang harus ada pada sebuah alat komunikasi nirkabel ataupun perangkat yang berfungsi untuk memancarkan dan atau menerima gelombang elektromagnetik salah satunya pada radar altimeter dengan alokasi frekuensi yaitu pada rentang 4,2 – 4,4 GHz sesuai ketentuan *International Telecommunication Union* (ITU). Untuk memaksimalkan kinerja radar altimeter, dibutuhkan antena yang mampu menghasilkan pola radiasi *unidirectional* dengan *gain* yang tinggi serta *bandwidth* yang lebar. Pada penelitian ini digunakan antena mikrostrip karena memiliki dimensi kecil, massa ringan, seera biaya fabrikasi yang murah (Amaliya & Ludyati, 2019). Namun kelemahan dari antena mikrostrip adalah menghasilkan *gain* yang rendah serta *bandwidth* yang sempit (Akbar, Alam, & Surjati, 2017). Untuk meningkatkan *gain* dapat dilakukan metode *array* yaitu dengan menyusun antena mikrostrip menjadi beberapa *patch* yang terhubung ke saluran pencatu. Ada beberapa kelemahan pada metode *array* diantaranya penambahan *feed line* pada setiap elemen akan menambahkan dimensi dari substratnya dan penambahan T-Junction akan menyebabkan penambahan parameter optimasi pada antena mikrostrip *array*. Untuk mengatasi kelemahan tersebut digunakan metode elemen parasitik yaitu sebuah elemen yang tidak memiliki *feed line* sendiri dan bergantung pada *feed line patch* utama (Indani & Sembiring, 2020) dan pencatuan *proximity coupled* untuk memperlebar *bandwidth* (Prabowo & Wijanto, 2017).

Penelitian ini diselesaikan dengan mengacu pada beberapa referensi dengan topik terkait. Bayu dan Heroe (2017) membuat antena mikrostrip *array* dengan bentuk *patch* persegi dengan bahan substrat yang digunakan yaitu Rogers RT5880 dan digunakan pencatuan *proximity coupled*. Pada simulasi dihasilkan nilai *return loss* 79,78 dB dengan lebar *bandwidth* 348,1 MHz, *gain* sebesar 13,17 dBi, dan pola radiasi *unidirectional*. Sedangkan hasil realisasi didapatkan *return loss* sebesar 51,89 dB, *bandwidth* 286 MHz, *gain* 13,46 dBi, dengan pola radiasi *unidirectional* (Prabowo & Wijanto, 2017).

Info Makalah:

Dikirim : 04-27-22;

Revisi 1 : 05-28-22;

Revisi 2 : 06-22-22;

Diterima : 06-23-22.

Penulis Korespondensi:

Telp : -

e-mail : siti.latifah.tkom19@polban.ac.id

Aries Asrianto Ramadian (2017) merancang antena mikrostrip berbentuk rectangular gerigi. Bahan substrat menggunakan FR-4 Epoxy dengan teknik pencatuan *microstrip line feed*. Antena yang dihasilkan bekerja pada frekuensi 4132 – 4373 MHz dengan *return loss* 16,55 dB dan *bandwidth* 241 MHz (Ramadian, 2017). Kanakavalli, dkk (2018) membuat antena mikrostrip dengan *patch* berbentuk cekung berukuran 32 × 38 mm.

Substrat yang digunakan adalah Rogers RT5880 dengan teknik pencatuan *coaxial probe*. Hasil simulasi menunjukkan *bandwidth* 200 MHz pada *return loss* 22 dB, dan *gain* 10 dBi (Harshasri, Babu, & Rao, 2018).

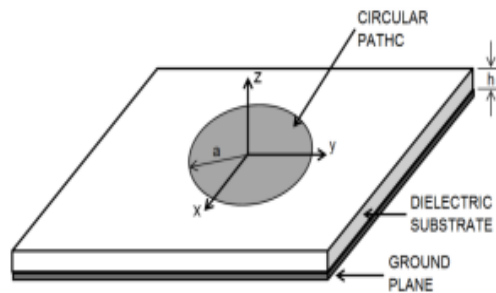
A. Sudhakar, dkk (2018) membuat antena mikrostrip *compact rectangular* dengan ukuran 18 mm x 12 mm x 1,6 mm dengan bahan substrat FR-4 Epoxy. Hasil simulasi didapatkan *return loss* sebesar 32 dB dengan *gain* 3,74 dBi (Sudhakar, Prakash, & Satyanarayana, 2018). Saad, dkk (2018) merancang antena mimo pada tahun 2018 dengan menggunakan teknik DGS dan bahan substrat yang digunakan yaitu Rogers RT5880. Hasil simulasi didapatkan *return loss* 28 dB dengan lebar *bandwidth* 2000 MHz, dan *gain* 6,8 dBi (Kiani, Altaf, Mahmood, & J.Cole, 2018).

Upender (2021) merancang antena mikrostrip *rectangular* dengan menggunakan pencatuan *proximity coupled* dan bahan substrat Rogers RT5880. Pada simulasi dihasilkan *return loss* 32 dB, *bandwidth* 100 MHz, dan *gain* 9,01 dB sedangkan hasil realisasi didapatkan *return loss* 10,3 dB dengan *bandwidth* 90 MHz serta *gain* sebesar 5 dBi (Upender, 2021). Dari antena yang sudah diteliti dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya, antena tersebut memiliki *bandwidth* yang lebih lebar yaitu 300 MHz dengan *gain* 8,13 dBi dan pola radiasi *unidirectional* sesuai kebutuhan radar altimeter.

2. Metode

A. Antena Mikrostrip Circular

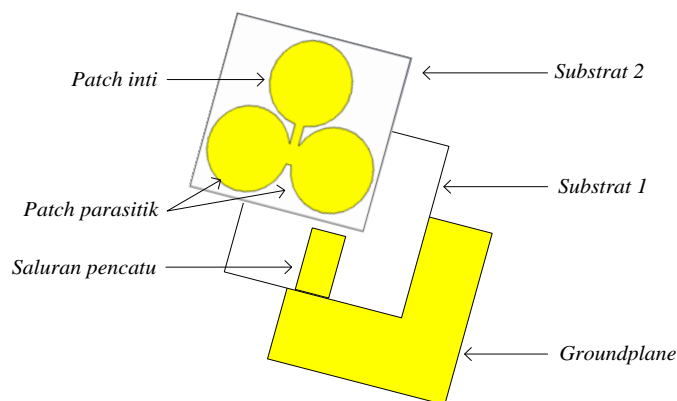
Salah satu jenis antena yang dilihat berdasarkan bentuk *patch* nya yaitu antena dengan *patch* berbentuk lingkaran (*circular*). Antena mikrostrip *circular* merupakan antena dengan bentuk sederhana karena hanya memiliki satu parameter dimensi yaitu berupa jari-jari *patch* (a) sehingga akan memudahkan dalam proses optimasi.



Gambar 1. Geometri Antena Mikrostrip *Circular Patch*.

B. Teknik Pencatuan *Proximity Coupled*

Teknik pencatuan *proximity coupled* mempunyai performansi yang baik dalam hal lebar *bandwidth* dan *gain* dari antena yang tinggi. Berdasarkan Gambar 2 struktur dasar dari pencatuan *proximity coupled* menggunakan dua *layer* substrat. Elemen *patch* dari antena mikrostrip ditempatkan pada bagian atas *layer* pertama, sementara pencatunannya ditempatkan pada bagian atas *layer* kedua dengan *ground plane* berada pada bagian bawah dari *layer* kedua substratnya (Rachmat, Nugroho, & Saputera, 2021).



Gambar 2. Susunan Antena Teknik Pencatuan *Proximity Coupled*.

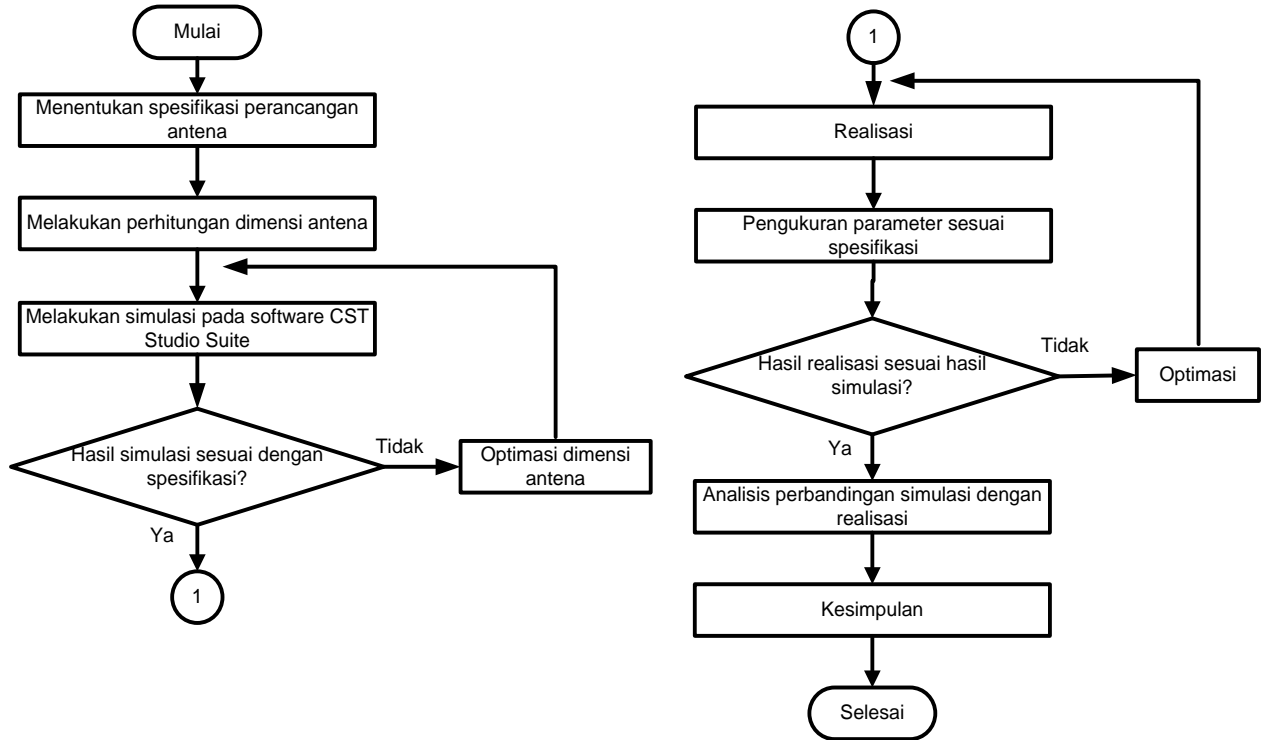
C. Metode Parasitik

Metode parasitik merupakan metode penambahan elemen parasitik berupa *patch* sekunder yang diletakkan berdekatan dengan *patch* utama atau *patch* yang akan didorong (Marchellia, Simanjuntak, & Madiawati, 2021).

Elemen parasitik merupakan elemen yang tidak dicatu dan terbuat dari bahan semikonduktor murni (Medianto & Hardiman, 2018). Penambahan elemen parasitik ini berfungsi untuk meningkatkan *gain* yang merupakan salah satu kelemahan pada antena mikrostrip yaitu cenderung memiliki *gain* yang rendah. Selain itu, metode parasitik juga merupakan salah satu cara untuk mengatasi karakteristik *bandwidth* yang sempit dari antena mikrostrip

D. Perancangan Antena

Perancangan antena mikrostrip dibantu dengan simulator CST Studio Suite 2019. Tahapan perancangan antena tersebut sesuai dengan Gambar 3 dengan spesifikasi antena yang dirancang diperlihatkan Tabel 1.



Gambar 3. Tahapan Perancangan Antena.

Tabel 1. Spesifikasi Perancangan Antena.

Spesifikasi	Nilai
Frekuensi tengah (GHz)	4,3
<i>Bandwidth</i> (MHz)	≥ 200
<i>Return loss</i> (dB)	≥ 10
<i>Gain</i> (dBi)	≥ 4
Pola radiasi	<i>unidirectional</i>

E. Perancangan Antena

Perancangan antena dibantu dengan perangkat lunak CST Studio Suite 2019. Penentuan dimensi antena dihitung terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan untuk menghitung jari-jari *patch*, ukuran panjang dan lebar *ground plane* serta saluran pencatu (Satria, 2021) (Tantana, 2021).

Penentuan nilai jari-jari/radius (*a*) dari *patch circular* dihasilkan dengan menggunakan persamaan (1) dan (2):

$$a = \frac{F}{\sqrt{1 + \frac{2h}{\pi\epsilon_r F} \left[\ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right) + 1,7726 \right]}} \quad (1)$$

$$F = \frac{8,791 \times 10^9}{fr\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

Ukuran untuk panjang dan lebar dari *ground plane* dihitung dengan persamaan (3) dan (4).

$$Lg = 6h + 2a \quad (3)$$

$$Wg = 6h + \frac{\pi}{2} a \quad (4)$$

Sedangkan perhitungan panjang dan lebar dari saluran pencatu menggunakan persamaan:

$$Wf = \frac{8h^A}{e^{2A-2}} \text{ untuk } A > 1,52 \quad (5)$$

$$Wf = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon r - 1}{2\epsilon r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon r} \right] \right\} \text{ jika } A < 1,52 \quad (6)$$

$$Lf = \frac{1}{4} \lambda d \quad (7)$$

Dengan A dan B dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$A = \frac{Z_0}{60} \left(\frac{\epsilon r + 1}{2} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{\epsilon r - 1}{\epsilon r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon r} \right) \quad (8)$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon r}} \quad (9)$$

Dan panjang gelombang saluran (λd) dicari dengan persamaan (10) dan (11).

$$\lambda_0 = \frac{c}{fr} \quad (10)$$

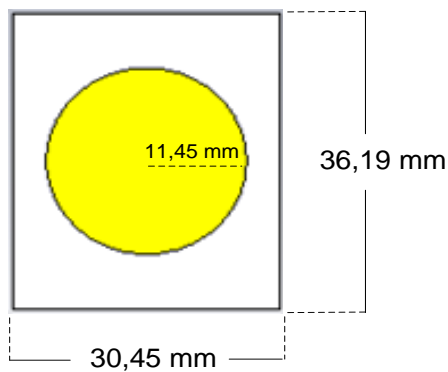
$$\lambda d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon r}} \quad (11)$$

Tabel 2. Dimensi Antena Hasil Perhitungan.

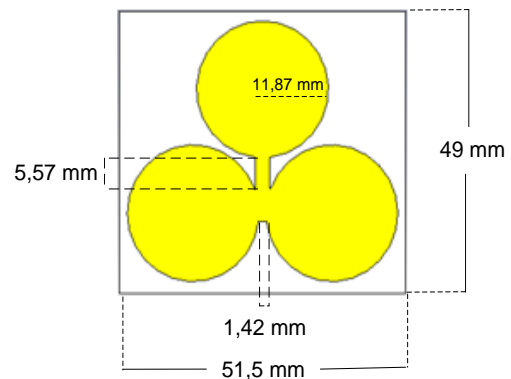
Parameter	Dimensi (mm)	Keterangan
a	13,37	Jari-jari <i>circular patch</i>
Lg	36,19	Panjang <i>Ground plane/substrate</i>
Wg	30,45	Lebar <i>Ground plane/substrate</i>
Lf	11,42	Panjang <i>feeder</i>
Wf	4,67	Lebar <i>feeder</i>

3. Hasil dan Pembahasan

Pada simulator dirancang terlebih dahulu antena dengan 1 *patch* (tanpa parasitik) kemudian setelah mendapat respons yang optimal maka dikembangkan dengan menambah 2 *patch* parasitik dengan ukuran yang sama. Gambar 4 merupakan desain antena tanpa parasitik dan Gambar 5 adalah dengan parasitik.

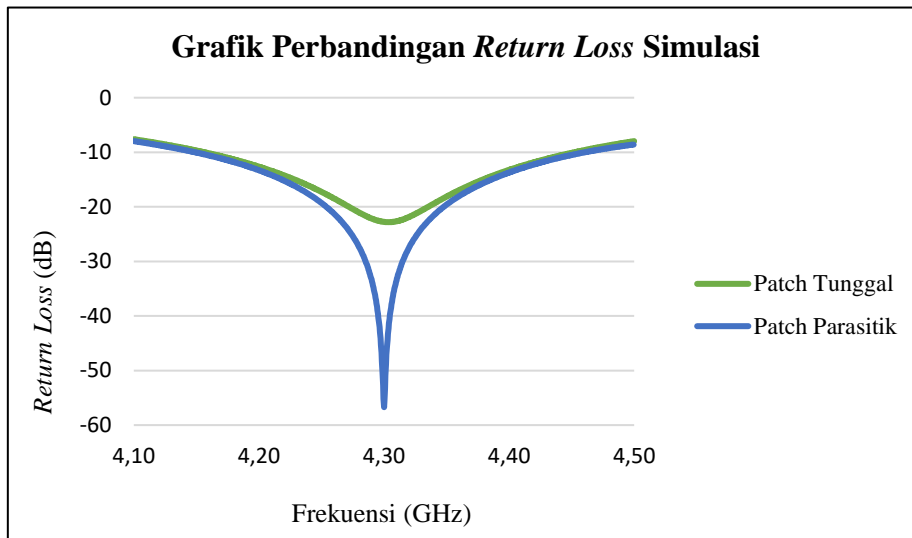


Gambar 4. Antena *Patch* Tunggal.



Gambar 5. Antena *Patch* Parasitik.

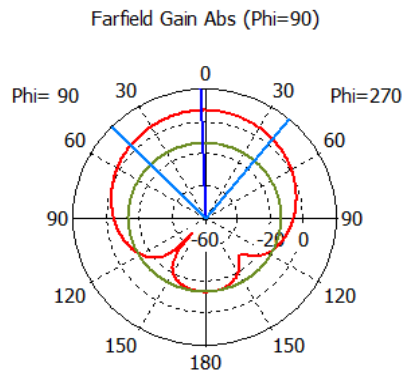
Perbandingan nilai *return loss* yang didapatkan dari hasil simulasi ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 6.



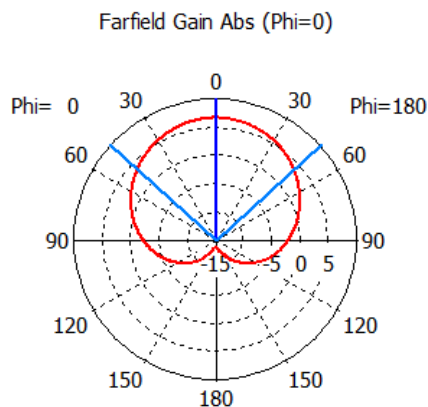
Gambar 6. Grafik Perbandingan *Return Loss* Patch Tunggal dengan Patch Parasitik.

Respons parameter antena dengan tambahan *patch* parasitik memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan antena dengan *patch* tunggal. Pada frekuensi kerja 4,3 GHz, antena dengan *patch* tunggal memiliki nilai *return loss* sebesar 22,8 dB dengan *bandwidth* 295,7 MHz sedangkan antena dengan *patch* parasitik memiliki *return loss* sebesar 56,7 dB dengan lebar *bandwidth* lebih besar 5,16% yaitu 311 MHz.

Bentuk pola radiasi yang dicari yaitu pola radiasi pada bidang *H-plane* dan juga *E-plane*. *H-plane* adalah bidang yang berisi vektor medan magnet dan arah radiasi maksimum sedangkan *E-plane* adalah bidang yang berisi vektor medan listrik dan arah radiasi maksimum (Simanjuntak). Gambar 7 dan 8 menunjukkan bentuk dari pola radiasi antena dengan *patch* tunggal dan memperlihatkan pola radiasi *unidirectional* karena sebagian besar radiasi tertuju pada satu arah. Dengan pola radiasi yang dihasilkan, diperoleh besarnya *gain* yaitu 6,61 dBi pada frekuensi 4,3 GHz.

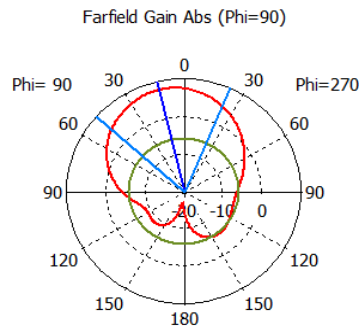


Gambar 7. Pola Radiasi *E-plane* Antena Patch Tunggal.

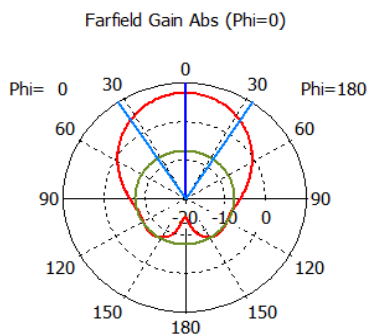


Gambar 8. Pola Radiasi *H-plane* Antena Patch Tunggal.

Sedangkan untuk antena dengan *patch* parasitik memiliki pola radiasi seperti dibawah ini. Besarnya *gain* yang dihasilkan yaitu 7,74 dBi.



Gambar 9. Pola Radiasi *E-plane* Antena *Patch* Parasitik.



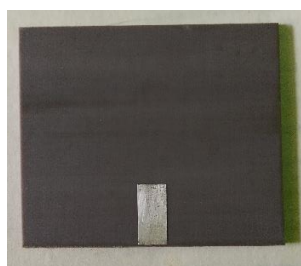
Gambar 10. Pola Radiasi *H-plane* Antena *Patch* Parasitik.

Antena dengan tambahan *patch* parasitik memiliki *gain* yang lebih besar dengan kenaikan 4,79% sesuai dengan fungsi metode parasitik itu sendiri dan pada pola radiasi memiliki *backlobe* yang lebih kecil dibandingkan dengan antena *patch* tunggal tanpa parasitik.

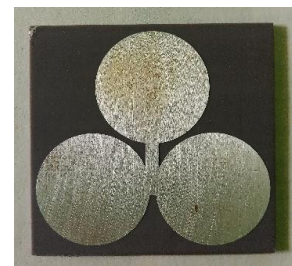
Antena yang telah dicetak ditampilkan oleh gambar-gambar dibawah ini dengan lapisan paling bawah berupa *ground plane* yang ditunjukkan oleh Gambar 11.a, saluran pencatu yang berada pada substrat pertama ditunjukkan oleh Gambar 11.b, dan *patch* diatas substrat 2 ditunjukkan oleh Gambar 11.c. Susunan antena yang telah dipasang konektor SMA *female* ditunjukkan oleh Gambar 11.d.



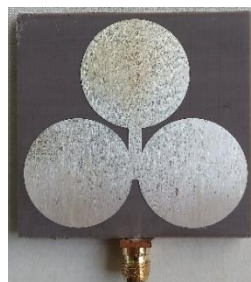
(a) *Ground plane*



(b) Saluran Pencatu



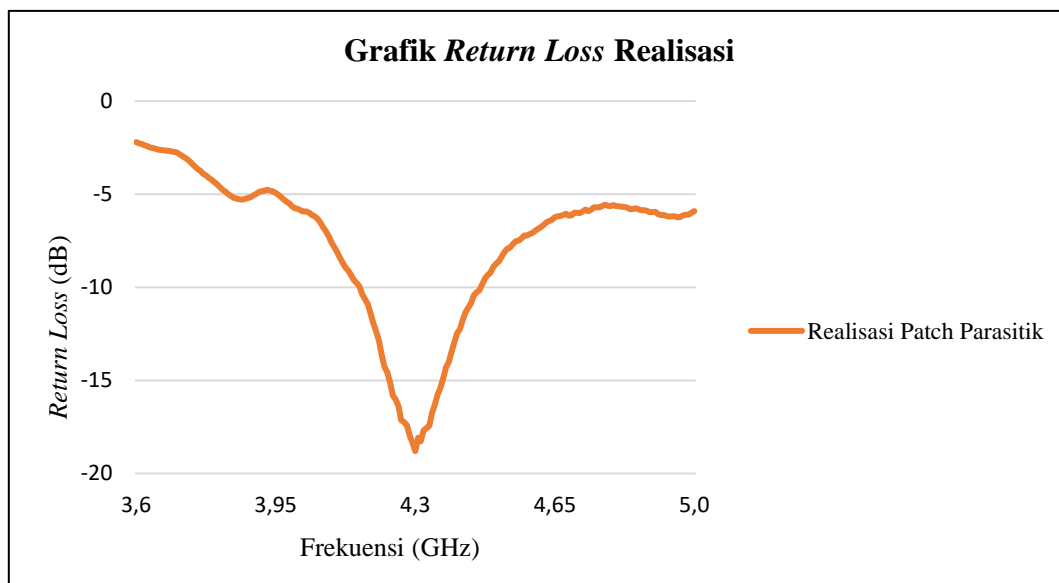
(c) *Patch*



(d) Antena Setelah Dipasang Konektor

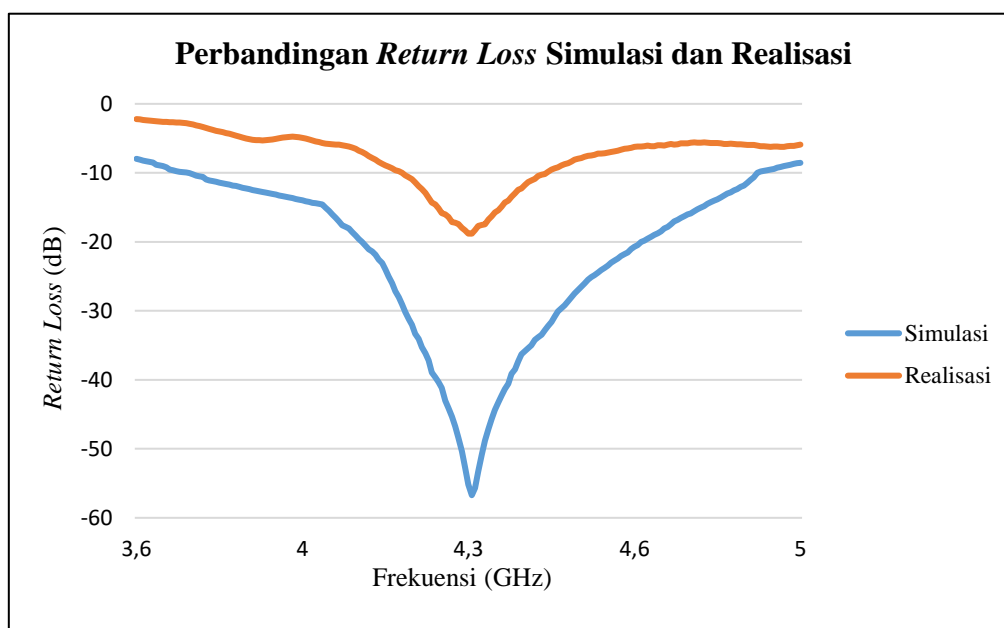
Gambar 11. Realisasi Antena

Pengukuran realisasi antenna menggunakan alat ukur *FieldFox microwave analyzer* dengan parameter antenna yang diukur yaitu *return loss*, *bandwidth*, *gain* dan pola radiasi. Berikut merupakan grafik *return loss* hasil pengukuran realisasi antenna yang ditunjukkan pada Gambar 12.



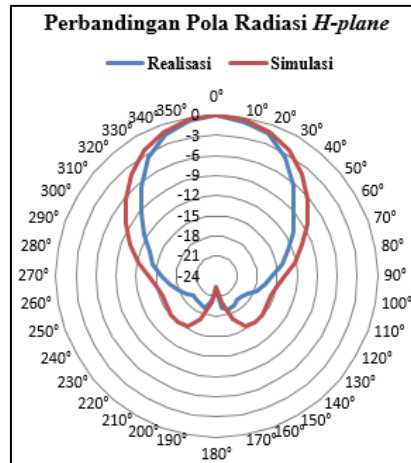
Gambar 11. Grafik Return Loss Antena Realisasi.

Hasil pengujian antenna didapatkan *return loss* maksimal yaitu 18,79 dB pada frekuensi 4,3 GHz sedangkan *return loss* maksimal untuk hasil simulasi yaitu sebesar 56,71 dB. Perbandingan grafik *return loss* antara pengukuran dan simulasi untuk setiap frekuensi ditunjukkan oleh Gambar 13.

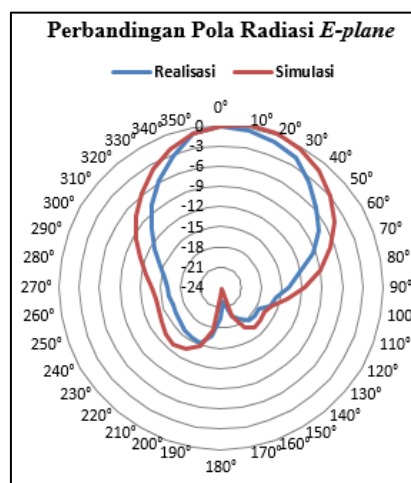


Gambar 12. Perbandingan Return Loss Simulasi dan Realisasi.

Lebar *bandwidth* pada *return loss* 10 dB untuk antenna simulasi yaitu diperoleh pada frekuensi 4149 MHz sebagai frekuensi rendah dan 4460 MHz untuk frekuensi tinggi sehingga lebar *bandwidth* yang dihasilkan adalah 311 MHz. Sedangkan untuk *bandwidth* hasil realisasi memiliki rentang frekuensi 4164 – 4464 MHz sehingga lebar *bandwidth* yang diperoleh yaitu 300 MHz. Untuk pengukuran pola radiasi digunakan dua antenna yaitu pemancar dan penerima yang dipasang dengan posisi yang sama pada jarak tertentu. Pengukuran untuk pola radiasi *H-plane* dilakukan dengan posisi antenna pada $\phi 0^\circ$ sedangkan pengukuran pola radiasi untuk *E-plane* dilakukan pada posisi antenna dengan $\phi 90^\circ$ dengan antenna penerima diputar setiap sudut 10° sesuai arah jarum dari 0° sampai 350° dan diperoleh bentuk pola radiasi yaitu *unidirectional* yang memancarkan radiasi ke satu arah saja. Gambar 14 dan Gambar 15 tampilan pola radiasi hasil pengukuran realisasi yang dibandingkan dengan hasil pada simulasi.



Gambar 13. Perbandingan Pola Radiasi H-plane.



Gambar 14. Perbandingan Pola Radiasi E-plane.

Pengukuran *gain* dilakukan dengan jarak antar antenna pemancar dan penerima yaitu $R \geq 14$ cm. Besarnya level daya yang terukur pada antenna pengirim/referensi (P_T) yaitu $-45,49$ dBm sedangkan pada antenna penerima (P_R) yaitu $-49,36$ dBm, dengan menggunakan antenna horn sebagai antenna acuan referensi yang memiliki *gain* standar (G_T) sebesar 12 dBi maka total *gain* yang terukur pada antenna penerima (G_R) dihitung melalui persamaan berikut.

$$G_R \text{ (dBi)} = P_R \text{ (dBm)} - P_T \text{ (dBm)} + G_T \text{ (dBi)} \quad (12)$$

$$G_R \text{ (dBi)} = -49,36 \text{ dBm} - (-45,59 \text{ dBm}) + 12 \text{ dBi}$$

$$G_R \text{ (dBi)} = 8,13 \text{ dBi}$$

Secara keseluruhan, nilai-nilai parameter antenna yang dihasilkan baik dari simulasi maupun pengukuran realisasi jika dibandingkan dengan nilai spesifikasi yang diharapkan tersaji dalam Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan keseluruhan hasil parameter antenna

Spesifikasi Teknis	Nilai	Hasil Simulasi	Hasil Realisasi
Frekuensi Tengah (GHz)	4,3	4,3	4,3
Bandwidth (MHz)	≥ 200	311	300
Return loss (dB)	≥ 10	56,71	18,79
Gain (dBi)	≥ 4	7,74	8,13
Pola Radiasi	Unidirectional	Unidirectional	Unidirectional

Kesimpulan

Hasil perancangan dan hasil realisasi antenna mikrostrip telah memenuhi spesifikasi yang diharapkan untuk aplikasi radar altimeter. Dari hasil simulasi diperoleh *bandwidth* 311 MHz dan *gain* 7,74 dBi sedangkan dari hasil pengukuran diperoleh *bandwidth* 300 MHz dan *gain* 8,13 dBi sehingga diperoleh penurunan *bandwidth* 3,54% dan peningkatan *gain* 4,79% dari hasil simulasi. Dari hasil simulasi dan pengukuran keduanya diperoleh pola radiasi *unidirectional*.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Hanny Madiawati selaku dosen pembimbing yang selalu ikut serta dalam penyelesaian penelitian ini. Terima kasih penulis ucapkan juga kepada Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan sarana untuk pengukuran antenna serta Jurnal Teknik UNJANI yang telah memfasilitasi dalam penerbitan jurnal.

Daftar Notasi

a	= jari-jari/radius <i>patch</i>
F	= fungsi logaritmik
h	= tebal substrat
f_r	= frekuensi resonansi/
ϵ_r	= permitivitas relatif substrat
L_g	= panjang <i>ground plane</i>
W_g	= lebar <i>ground plane</i>
Z_0	= impedansi masukan (50Ω)
λ_d	= panjang gelombang saluran
G_R	= <i>gain</i> antenna terukur/penerima
G_T	= <i>gain</i> antenna acuan/referensi
P_R	= level daya antenna terukur/penerima
P_T	= level daya antenna acuan/referensi

Daftar Pustaka

- Akbar, A., Alam, S., & Surjati, I. (2017). Perancangan Antena Mikrostrip Patch Circular (2,45 GHz) Array dengan Teknik Pencatu Proximity Sebagai Penguat Sinyal Wi-Fi. *SETRUM*, 6(2), 215-224.
- Amaliya, T., & Ludyati, H. (2019). Realisasi Antena Mikrostrip Persegi Panjang Menggunakan Substrat FR4 Termodifikasi dengan Mode TM01 dan TM12 Pada Frekuensi Kerja Radar Altimeter Pesawat. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, X(1), 1-11.
- Harshasri, K., Babu, P., & Rao, P. (2018). Design of Compact C-Band Concave Patch Antenna for Radar Altimeter Applications. *International Conference on Communication and Signal Processing*. India.
- Indani, W., & Sembiring, J. R. (2020). Peningkatan Gain Antena Mikrostrip Patch Rectangular dengan Metode Element Parasitic Pada Frekuensi 2.1 GHz. *ELEMENTER*, 6(2), 62-69.
- Kiani, S. H., Altaf, A., Mahmood, K., & J.Cole, A. (2018). Mutual Coupling Reduction of MIMO Antenna for Satellite Services and Radio Altimeter Application. (*IJACSA*) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(4), 23-26.
- Marchellia, Simanjuntak, A. B., & Madiawati, H. (2021). Desain Antena Mikrostrip Persegi Menggunakan Kombinasi U-Slot dan Elemen Parasitik pada Frekuensi 2.4 GHz. *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 4(5), 724-730.
- Medianto, D., & Hardiman, M. (2018). Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Triangular Metode Parasitic Untuk Aplikasi LTE di Frekuensi 2,3 GHz. *Jurnal Teknologi Elektro*, 9(2), 109-116.
- Prabowo, B. H., & Wijanto, H. (2017). Perancangan Dan Realisasi Antena Susunan Linier Mikrostrip Patch Persegi Dengan Catuan Proximity Coupled Untuk Radio Altimeter Pesawat 4,2 – 4,4 GHz. *e-Proceeding of Engineering*, 3(2), 2002-2010.
- Rachmat, I. M., Nugroho, B. S., & Saputera, Y. P. (2021). Antena Mikrostrip Proximity Coupled dengan Side Parasitic pada Frekuensi S-Band untuk Electronic Support Measure (ESM). *e-Proceeding of Engineering*, 8(2), 1-8.
- Ramadian, A. A. (2017). Desain Antena Mikrostrip Rectangular Gerigi untuk Radar Altimeter. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, 1(2), 1-10.
- Satria, D. I. (2021). *Perancangan Antena Mikrostrip Circular Patch Untuk Aplikasi GPS Pada Frekuensi 1575.42 MHz*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Simanjuntak, A. (n.d.). BAB 4 Parameter Antena. In *Teknik Antena dan Propagasi* (pp. 35-57). Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Sudhakar, A., Prakash, M. S., & Satyanarayana, M. (2018). Compact Microstrip Antenna for Radar Altimeter Applications. *IEEE WiSPNET 2016 Conference*. India.
- Tantana, M. Y. (2021). *Perancangan Antena Mikrostrip Array Circular Patch Bintang 27 Pada Sistem Peringatan Dini Kebakaran Hutan Menggunakan IoT Lora 923 MHz*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Uperder. (2021). Performance Analysis and Development Of Printed Circuit Microstrip Patch Antenna with Proximity Coupled Feed at 4.3 GHz (C-band) with Linear Polarization for Altimeter Application. *International Journal of Computing and Digital Systems*, 10(1), 1293-1304.