

Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip L-Band Rentang Frekuensi 1.2 – 1.4 GHz Dengan Pencatuan Probe

1st Kartika Oktaviani

Fakultas Ilmu Terapan

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

kartikaoktaviani@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Radial Anwar

Fakultas Ilmu Terapan

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

radialanwar@tass.telkomuniversity.ac.id

3rd Unang Sunarya

Fakultas Ilmu Terapan

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

unangsunarya@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Dalam bidang pertahanan dan keamanan, Tentara Nasional Indonesia (TNI) mengembangkan radar L-Band yang dapat mendeteksi pergerakan manusia. Diperlukan antena berukuran kecil untuk memudahkan mobilitas dan penerapan di lapangan dengan *gain* yang bernilai positif. Antena dirancang untuk beroperasi pada frekuensi 1.3 GHz dengan rentang 1.2 – 1.4 GHz, dengan parameter *antenna return loss* ≤ -10 dB, *VSWR* ≤ 2 , *bandwidth* 200 MHz, dan *gain* 1-2 dBi. Bahan antena dipilih karena sifatnya yang memungkinkan antena dirancang lebih kecil tanpa mengurangi *gain*, dengan teknik miniaturisasi menggunakan *Defected Ground Structure* (DGS) U, serta menerapkan dua metode pencatuan yaitu *feedline* dan *probe feeding*.

Kata kunci — Radar L-Band, Miniaturisasi, DGS U, Feedline, Probe Feeding

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam era modern, kebutuhan untuk mendeteksi pergerakan manusia dan perangkat di lapangan semakin penting, terutama dalam bidang pertahanan dan keamanan. Untuk mendukung tugas tersebut, tentara nasional indonesia (tni) memerlukan sistem deteksi yang efektif dan efisien digunakan untuk memantau aktivitas di wilayah operasi. Salah satu solusi yang diusulkan adalah pengembangan radar L-Band yang mampu mendeteksi pergerakan manusia. Untuk hasil yang efektif, maka diperlukan antena berukuran kecil dengan tujuan mempermudah mobilitas dan penerapan di lapangan jika diimplementasikan dalam bentuk array serta nilai *gain* yang tinggi bertujuan untuk memastikan penyebaran sinyal yang diterima cukup kuat untuk mendukung analisis yang akurat.

Antena mikrostrip adalah ukuran yang kecil dengan bobot yang *ringan* [1] [2]. Pemilihan material menjadi salah satu hal utama dalam pengembangan antena, sehingga Duroid dipilih sebagai bahan antena karena sifatnya yang memungkinkan antena dirancang lebih kecil sehingga membantu dalam mereduksi dimensi ukuran antena tanpa mengurangi nilai *gain*.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang menjadi topik pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang antena mikrostrip untuk sistem radar pada frekuensi L Band yang beroperasi pada rentang frekuensi 1.2 – 1.4 GHz?
2. Bagaimana hasil dari parameter antena yang didapatkan dari perancangan antena mikrostrip L-Band dengan rentang frekuensi 1.2 – 1.4 GHz dengan metode pencatuan probe?
3. Bagaimana analisis dari hasil parameter antena yang dihasilkan dari perancangan untuk radar pada frekuensi L-Band dengan frekuensi 1.2 – 1.4 GHz?

C. Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat merancang antena mikrostrip untuk sistem radar pada frekuensi L- Band dengan rentang frekuensi 1.2 – 1.4 GHz.
2. Mengetahui hasil dari parameter yang didapat dari perancangan antena mikrotrip frekuensi L- Band dengan rentang frekuensi 1.2 – 1.4 GHz dengan metode pencatuan probe.
3. Mengetahui hasil analisis dari nilai parameter antena pada perancangan antena mikrostrip untuk radar L-Band pada frekuensi 1.2 – 1.4 GHz.

D. Manfaat

Adapun manfaat dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

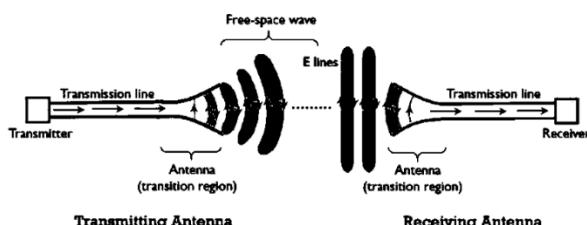
1. Dapat mengetahui bagaimana perancangan antena mikrostrip untuk radar L-Band dengan rentang frekuensi 1.2 – 1.4 GHz.
2. Dapat melakukan optimasi desain antena mikrostrip untuk memenuhi nilai spesifikasi radar L-Band yang dibutuhkan.

3. Dapat mengetahui hasil parameter antena untuk nilai *return loss*, *VSWR*, *bandwidth*, dan *gain* berdasarkan simulasi dan pengukuran.

II. KAJIAN TEORI

A. Antena

Antena merupakan komponen yang digunakan untuk memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik. Prinsip kerja antena adalah energi listrik dari antena pemancar akan diubah menjadi gelombang elektromagnetik saat dipancarkan ke udara, lalu pada sisi penerima energi ini akan diubah menjadi sinyal listrik. Secara sederhana, antena merupakan media perantara antara sinyal listrik dan gelombang elektromagnetik, memungkinkan komunikasi nirkabel.



GAMBAR 1
Konsep Kerja Antena [3]

B. Parameter Antena

Berikut ini adalah nilai parameter antena yang menjadi pertimbangan dalam perancangan pada antena mikrostrip radar L-Band sebagai berikut:

1. VSWR

Perbandingan antara amplitudo maksimum dan minimum pada gelombang berdiri yang berkaitan dengan gelombang yang dikirimkan dan gelombang yang direfleksikan. Koefisien refleksi (Γ) tegangan didefinisikan sebagai rasio antara amplitudo gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. Kondisi optimal dalam suatu sistem transmisi terjadi ketika VSWR bernilai 1, hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat gelombang yang dipantulkan, yang berarti saluran berada dalam keadaan *matched* [4].

2. Return Loss

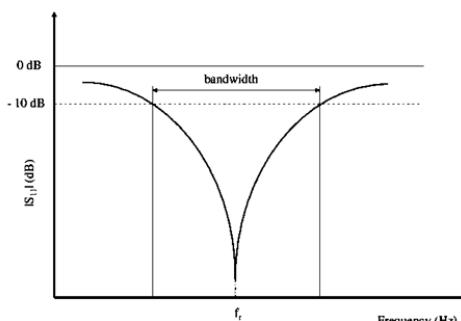
Return loss atau faktor refleksi (S_{11}) merupakan parameter antena yang digunakan untuk mengukur daya yang hilang dan tidak kembali dalam sistem [5]. Faktor refleksi dapat didefinisikan sebagai rasio antara tegangan yang datang atau yang terrefleksi dan tegangan yang keluar. Nilai faktor refleksi yang dianggap baik untuk sebuah antena adalah ≤ -10 dB, yang menunjukkan bahwa gelombang yang terrefleksi relatif kecil dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan [5].

3. Bandwidth

Dapat didefinisikan sebagai jangkauan frekuensi ketika sebuah antena bekerja dengan baik dengan batas nilai pada $VSWR \leq 2$ dan $Return loss \leq -10$ dB. *Bandwidth* dapat difenisikan sebagai selisih antara

frekuensi atas (f_2) dengan frekuensi bawah (f_1). *Bandwidth* dapat dinyatakan seperti dalam Persamaan 1.

$$Bandwidth = f_2 - f_1 \quad (1)$$



GAMBAR 2
Grafik Bandwidth Antena

4. Gain

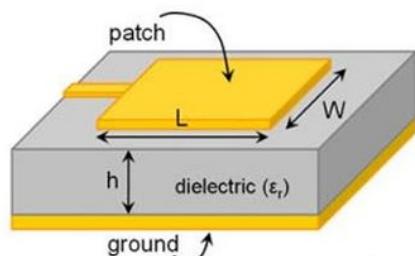
Gain atau penguatan daya adalah rasio atau perbandingan antara intensitas radiasi dari suatu antena dalam arah utama tertentu dengan intensitas radiasi dari antena isotropik yang menggunakan sumber daya masukan yang sama. *Gain* mengindikasikan seberapa efisien daya yang tersedia di terminal input antena dapat ditransmisikan, yang berkaitan dengan kemampuan penyebaran berkas radiasi sinyal ke arah tertentu. Satuan pengukuran *gain* dinyatakan dalam desibel (dB). Ketika dibandingkan dengan antena isotropik, *gain* ini biasanya dinyatakan sebagai dB_i.

C. Antena Radar

Radio Detection and Ranging (Radar) merupakan teknologi yang berfungsi untuk deteksi dan pengukuran jarak melalui pemanfaatan gelombang radio. Sesuai dengan penamaan *detection* adalah kemampuan untuk mendeteksi, dan *ranging* adalah kemampuan menentukan jarak pada objek tertentu [6]. Antena radar yang digunakan pada perancangan adalah pada frekuensi L-Band. L-Band beroperasi pada frekuensi 1 – 2 GHz dengan kegunaan untuk sistem pengawasan jarak jauh [7].

D. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan jenis antena konduktor nirkabel yang memiliki dimensi sangat kecil dan terdiri dari *patch*, substrat dielektrik, serta *ground plane*. Desain yang sederhana dan bobot yang ringan menjadikan antena ini dapat disesuaikan dengan berbagai kebutuhan spesifik. Fungsi utama antena mikrostrip sama seperti konsep antena pada umumnya. *Patch* yang terbuat dari bahan konduktor seperti tembaga yang berguna untuk meradiasikan gelombang dan menambah nilai estetika pada antena. Substrat dielektrik adalah media yang menyalurkan gelombang dari sebuah catuan. *Ground plane* terbuat dari bahan konduktor yang berperan sebagai ground pada antena.



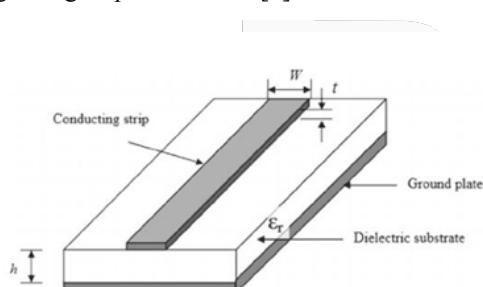
GAMBAR 3
Struktur Antena Mikrostrip

E. Teknik Pencatuan Antena Mikrostrip

Teknik pencatuan merupakan metode atau teknik dalam perancangan pemberian sumber sinyal pada antena yang dihubungkan dari strip konduktor ke *patch* dengan tujuan untuk memastikan sebuah antena dapat memancarkan dan menerima pancaran gelombang elektromagnetik. Berikut ini teknik pencatuan yang digunakan pada perancangan:

1. Mikrostrip *Feedline*

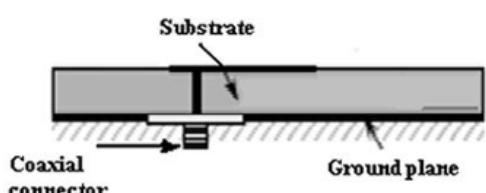
Microstrip *feedline* merupakan teknik pencatuan paling umum yang dikonfigurasi dengan cara menghubungkan jalur konduktor pencatuan yang diposisikan pada substrat dielektrik yang dihubungkan dengan bagian *patch* antena [8].



GAMBAR 4
Pencatuan Mikrostrip *Feedline*

2. Coaxial Probe *Feeding*

Coaxial Probe *Feeding* atau metode pencatuan probe merupakan salah satu teknik pencatuan sinyal yang langsung dicatuh atau dipasang di permukaan *patch* antena mikrostrip [9].



GAMBAR 5
Pencatuan Coaxial Probe *Feeding*

F. Miniaturisasi Antena

Miniaturisasi antena adalah teknik perancangan yang bertujuan untuk mengurangi ukuran antena tanpa mengorbankan kinerja dan efisiensinya. Frekuensi kerja yang

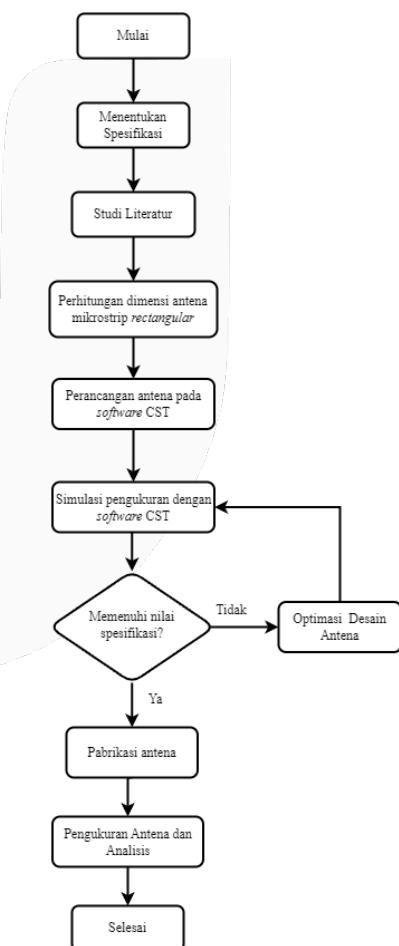
lebih rendah cenderung menghasilkan antena dengan dimensi yang lebih besar, sementara frekuensi yang lebih tinggi menghasilkan antena yang lebih kecil. [10]. Penggunaan bahan substrat dielektrik menjadi salah satu faktor penting dalam menentukan ukuran dan dimensi antena yang akan di miniaturisasi. Dalam menentukan ukuran dan dimensi antena mikrostrip, antena dengan substrat konstanta dielektrik tinggi dapat mengurangi ukuran antena, tetapi akan mengakibatkan penurunan kecepatan rambat gelombang atau penurunan nilai *gain* dalam penyebaran berkas pola radiasi.

G. Defected Ground Structure (DGS)

Salah satu teknik perancangan antena mikrostrip yang melibatkan variasi bentuk slot pada *ground plane* untuk meningkatkan kinerja filter dalam perangkat berbasis gelombang mikro, DGS merupakan teknik perancangan antena dengan menghilangkan sebagian dari bidang *ground plane* atau membentuk sebuah pola atau variasi dari bentuk tertentu pada *ground plane*, sehingga dapat secara efektif menekan gelombang permukaan yang tidak diinginkan [11] [12].

III. METODE

Berikut ini adalah gambar diagram alur perancangan pada antena mikrostrip radar L-Band, sebagai berikut



GAMBAR 6
Diagram Alur Perancangan Antena

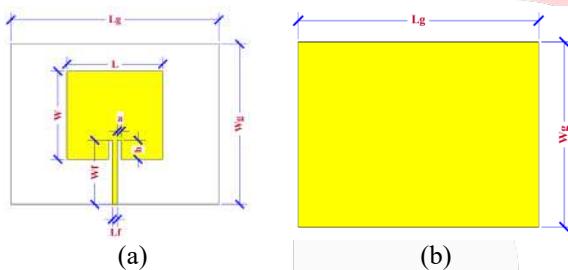
A. Spesifikasi Antena Mikrostrip L-Band

Spesifikasi antena yang diharapkan pada perancangan antena yang digunakan untuk radar L-Band dengan rentang frekuensi 1.2 – 1.4 GHz, sebagai berikut:

- Frekuensi Kerja : 1.3 GHz
- Bandwidth: 200 MHz
- Realized Gain : 3 – 5 dBi
- Return Loss : ≤ -10 dB
- VSWR : ≤ 2

B. PERANCANGAN ANTENA KONVENTSIONAL

Dalam perancangan antena untuk Tugas Akhir ini diperlukannya antena konvensional dengan bahan FR-4 metode pencatuan *feedline* dengan tujuan sebagai pembanding hasil parameter antena yang dihasilkan. Dalam optimasi optimasi desain pada antena ini dilakukan dengan tahapan mengubah ukuran panjang dan lebar dari *feedline*, *inset gap*, *substrat* dengan *full ground plane*. Berikut ini hasil perancangan antena konvensional, dapat dilihat pada Gambar 7 dan Tabel 1 sebagai berikut:



GAMBAR 7
Desain Antena Konvensional
(a) Tampak Depan, (b) Tampak Belakang

TABEL 1
Dimensi Ukuran Antena Konvensional

Struktur Antena Mikrostrip	Keterangan Dimensi	Besar Ukuran (mm)
Patch	Panjang (L)	60
	Lebar (W)	55
Ground plane dan Substrate	Panjang (L_g)	130
	Lebar (W_g)	100
Feedline	Panjang (L_f)	3
	Lebar (W_f)	40
Inset Gap	Panjang (a)	2.5
	Lebar (b)	12

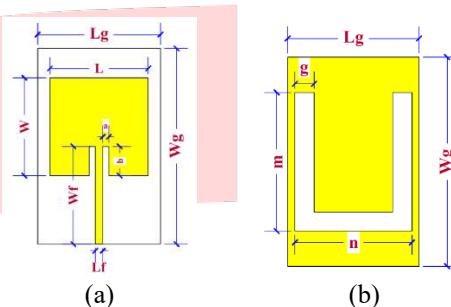
Berdasarkan nilai hasil simulasi CST untuk hasil optimasi ukuran antena konvensional menghasilkan nilai *return loss* (RL) sebesar -22.089 dB dan nilai VSWR sebesar 1.1 (pada frekuensi 1.32 GHz).

C. PERANCANGAN ANTENA DUROID 5880

Pada perancangan antena Duroid 5880 menggunakan teknik miniaturisasi antena dengan DGS U, dengan memvariasikan ukuran dari besar U. Berikut ini perancangan antena pada bahan duroid 5880 dengan menggunakan dua pencatuan yang berbeda, sebagai berikut:

1. Pencatuan *Feedline*

Ukuran acuan yang digunakan untuk dasar optimasi ukuran desain pada antena Duroid 5880 menggunakan ukuran hasil optimasi untuk antena konvensional yang tertera pada Tabel 1. Berikut ini hasil perancangan antena Duroid 5880 dengan pencatuan *feedline*, sebagai berikut:



GAMBAR 8
Desain Antena Duroid 5880 Feedline
(a) Tampak Depan, (b) Tampak Belakang

TABEL 2
Dimensi Ukuran Duroid 5880 Feedline

Struktur Antena Mikrostrip	Keterangan Dimensi	Besar Ukuran (mm)
Patch	Panjang (L)	40
	Lebar (W)	40
Ground plane dan Substrate	Panjang (L_g)	50
	Lebar (W_g)	80
Feedline	Panjang (L_f)	3
	Lebar (W_f)	40
Inset Gap	Panjang (a)	2.5
	Lebar (b)	12
U-Shape	g	7.25
	m	53
	n	44.5

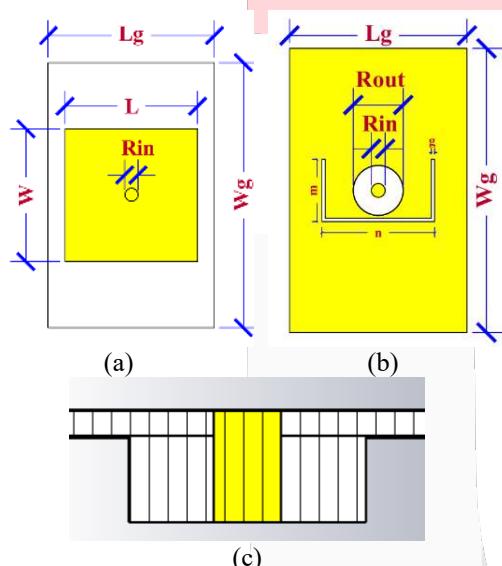
TABEL 3
Hasil Simulasi Parameter Antena Druoid Feedline

Parameter Antena	Nilai Pada Simulasi CST
------------------	-------------------------

Frekuensi Kerja	1.3 GHz
Bandwidth	240 MHz
Realized Gain	2.56 dBi
Return loss	-40 dB
VSWR	1.01

2. Pencatuan Probe Feeding

Dalam perancangan antena Duroid 5880 dengan metode pencatuan *probe feeding* ini menggunakan ukuran akhir dari hasil optimasi pada perancangan antena Duroid 5880 *feedline*. Tahapan optimasi pada antena ini hanya mengubah ukuran variasi dari variabel U-shape untuk mendapatkan hasil spesifikasi yang diharapkan. Berikut ini hasil perancangan dari desain antena Duroid 5880 dengan *probe feeding* pada Gambar 9 sebagai berikut:



GAMBAR 9

Desain Duroid 5880 Probe Feeding
(a) Tampak Depan, (b) Tampak Belakang, (c)
Konfigurasi Pencatuan Probe

TABEL 4
Dimensi Ukuran Druoid 5880 Probe

Struktur Antena Mikrostrip	Keterangan Dimensi	Besar Ukuran (mm)
Patch	Panjang (L)	40
	Lebar (W)	40
Ground plane dan Substrate	Panjang (L _g)	50
	Lebar (W _g)	80
Probe	R _{in}	2

U-Shape	R _{out}	7
	g	0.9
	m	17.5
	n	31.8

TABEL 5
Hasil Hasil Simulasi Parameter Antena Druoid Probe

Parameter Antena	Nilai Pada Simulasi CST
Frekuensi Kerja	1.29 GHz
Bandwidth	60 MHz
Realized Gain	2.88 dBi
Return loss	-28.9 dB
VSWR	1.07

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pabrikasi Antena

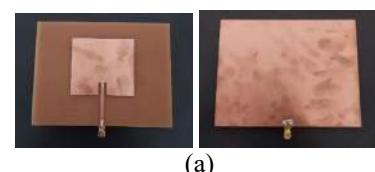
Pada tahap pabrikasi antena, antena yang tidak dapat dilanjutkan ke dalam tahap pabrikasi adalah Antena Duroid 5880 dengan *probe feeding*, dengan beberapa pertimbangan sebagai berikut:

1. Bahan Duroid 5880 yang terbatas. Terbatas dalam segi ukuran yang tersedia dan harga beli bahan antena yang mahal.
2. Dua parameter antena yang tidak memenuhi pada nilai spesifikasi pada saat simulasi yaitu nilai *bandwidth* dan *gain*. Hasil simulasi dari nilai parameter antena dapat dilihat pada tabel dibawah berikut ini:

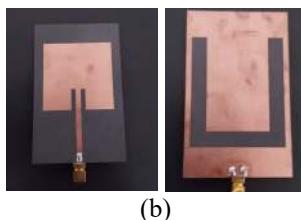
TABEL 6
Perbandingan Hasil Simulasi Parameter Antena

Parameter Antena	Nilai Spesifikasi	Antena Konvensional	Antena Duroid 5880 Feedline	Antena Duroid 5880 Probe
S11 (dB)	≤ -10	-22.089	-40	-28.9
VSWR	≤ 2	1.1	1.01	1.07
Bandwidth (MHz)	200	20	240	60
Gain (dBi)	3 - 5	0.145	2.56	2.88

Berikut ini adalah gambar dari hasil pabrikasi antena yang telah dirancang sebagai berikut:



(a)



GAMBAR 10

Hasil Pabrikasi Antena

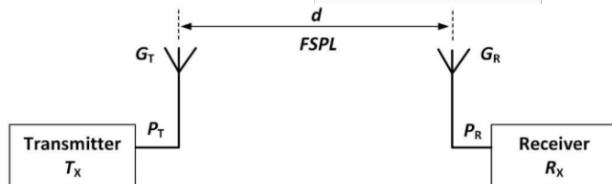
(a) Antena Konvensional, (b) Antena Duroid 5880 Feedline

B. Pengukuran Return Loss, VSWR, Bandwidth dan Gain

Pada pengukuran *gain* antena, pengukuran yang ideal adalah melakukan pengukuran pada ruangan *anechoic chamber*. *Anechoic Chamber* adalah ruangan yang dirancang untuk meminimalisir pantulan suara dan gelombang elektromagnetik yang memiliki ciri khas kedap suara. Pengukuran *gain* ini dilakukan pada ruangan yang kurang ideal, dilakukan pada Lab E3 dengan dua alat ukur yaitu *spectrum analyzer* dan *signal generator*. Pengukuran *gain* dilakukan dengan jarak yang berbeda. Setiap jarak yang diukur diambil sebanyak data minimal 10 kali pengukuran untuk mendapatkan rata-rata daya yang terbaca. Pada pengukuran *gain* ini diambil data untuk rentang jarak dari 1 m, 1.5 m, dan 2 m.

Untuk perhitungan nilai *gain* dapat dihitung dengan pendekatan apda persamaan link budget, sebagai berikut:

$$P_{Rx} = P_{Tx} + P_T + G_T - FSPL + G_R + P_R \quad (2)$$

GAMBAR 11
Link Budget Antena Tx dan Rx [13]

Dengan nilai FSPL atau Free Space Path Loss dapat dihitung melalui persamaan dibawah ini:

$$L_p = 32.45 + 20 \log f_{MHz} + 20 \log d_{km} \quad (3)$$

Keterangan:

 P_{Rx} = Daya terima (dBm) P_{Tx} = Daya transmit (dBm) P_T = Loss kabel antena Tx (dBm) G_T = Gain antena Tx (dB) G_R = Gain antena Rx (dB) P_R = Loss kabel antena Rx (dBm) L_p = Path loss pada free space (dB) d = Besar jarak antara antena Tx dan Rx (km) f = Frekuensi kerja pada antena Tx dan Rx (MHz)

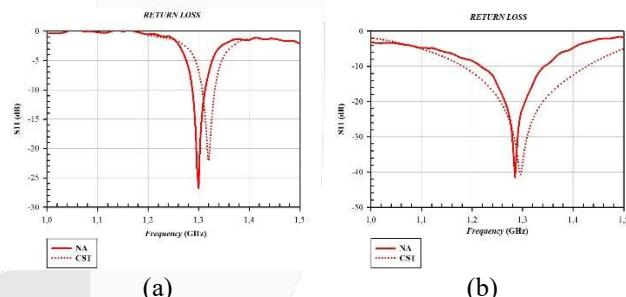
Maka berdasarkan pada Persamaan 3, maka nilai L_p pada jarak pengukuran *gain* (0.5 m, 1m, 1.5 m, dan 2 m) didapatkan sebesar 28.7 dB, 34.72 dB, 38.25 dB, 40.75 dB (untuk jarak 0.5 m, 1 m, 1.5 m, dan 2 m). Pengambilan data untuk pengukuran pada setiap jaraknya sebanyak 15 data untuk 1 jarak. Berikut ini adalah grafik hasil pengukuran dari nilai *gain* untuk antena yang di pabrikasi, sebagai berikut:

TABEL 7
Hasil Pengukuran Gain Antena Konvensional

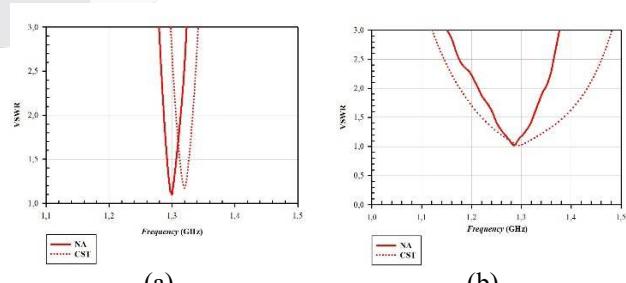
d (m)	P_{Tx} (dBm)	Loss Kabel		Rata-Rata P_{Rx} (dBm)	L_p (dB)	Gain	
		P_T (dBm)	P_R (dBm)			Pengukuran (dB)	Simulasi CST (dBi)
0.5	-10	-1.8	-2.62	-51.22	28.7	-4.05	0.145
1				-54.38	34.72	-2.62	
1.5				-55.58	38.25	-1.455	
2				-57.66	40.75	-1.245	

TABEL 8
Pengukuran Gain Antena Duroid 5880 Feedline

d (m)	P_{Tx} (dBm)	Loss Kabel		Rata-Rata P_{Rx} (dBm)	L_p (dB)	Gain	
		P_T (dBm)	P_R (dBm)			Nilai (dB)	Simulasi CST (dBi)
0.5	-10	-1.8	-2.62	-51.03	28.7	-3.955	2.85
1				-57.47	34.72	-4.165	
1.5				-61.87	38.25	-4.6	
2				-62.84	40.75	-3.835	



(a) (b)

GAMBAR 12
Perbandingan Pengukuran dan Simulasi S11
(a) Antena Konvensional, (b) Antena Duroid 5880 Feedline(a) (b)
GAMBAR 13
Perbandingan Pengukuran dan Simulasi VSWR
(a) Antena Konvensional, (b) Antena Duroid 5880 Feedline

Nilai *gain* pada antena konvensional mendapatkan nilai terbaik sebesar -1.245 dB saat jarak pengukuran 2 m, dengan nilai simulasi dan pengukuran return loss (S11) sebesar -22.089 dB dan -26.77 dB. Dengan nilai VSWR berdasarkan simulasi dan pengukuran sebesar 1.1 dan 1.09. Pada antena Duroid 5880 *Feedline* mendapatkan nilai *gain* terbaik sebesar -3.835 dB saat jarak pengukuran 2 m, dengan nilai simulasi dan pengukuran return loss (S11) sebesar -40 dB dan -41 dB. Dengan nilai VSWR berdasarkan simulasi dan pengukuran sebesar 1.01 dan 1.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan antena mikrostrip L-*Band* untuk implementasi radar pergerakan manusia atau objek, dengan menggunakan bahan duroid 5880 nilai parameter yang hampir mendekati dengan nilai spesifikasi kebutuhan radar L-*Band*, adalah antena duroid dengan metode pencatuan feedline dengan nilai parameter antena:

1. Return Loss : -41 dB
2. VSWR : 1
3. Bandwidth : 130 MHz
4. Gain : -3.835 dB

Pada antena duroid 5880 *feedline* dan *probe feeding*, ukuran antena berhasil terminiaturisasi sebesar 69.23% dari ukuran antena acuan (antena konvensional), sedangkan untuk nilai *gain* antena yang dipabrikasi mengalami penurunan saat pengukuran, hal ini terjadi karena beberapa faktor seperti:

1. Ruangan pengukuran yang tidak ideal.
2. Pemilihan konektor pada antena, teknik *soldering* yang tidak tepat (gosong atau terlalu banyak timah yang menumpuk).
3. Loss kabel pigtail yang digunakan saat pengukuran.

Keterbatasan alat yang tersedia juga menjadi pengaruh, terlalu banyak sambungan kabel yang dilakukan maka akan semakin memperbesar nilai *loss* yang terjadi saat pengukuran, hal ini tentu saja sangat berpengaruh dalam pengukuran pada setiap jaraknya. Sehingga tidak selaras dengan teori, "Semakin dekat jarak pengukuran gain antara antena Tx dan Rx maka akan semakin terarah dan nilai gain yang dihasilkan akan semakin kuat dan semakin tinggi."

REFERENSI

- [1] Z. Mankusa, H. Wijanto, E. D. P. Srtiawan and H. H. Ryanu , "Desain Dan Realisasi Antena Mikrostrip Patch Sirkular Pita Lebar Untuk Penerima Berbasis Lora Dan Ads-B Pada Satelit Kubus 2U," *Journal of Electrical Engineering and Information Technology*, vol. 19, no. 2, pp. 59-64, 2021.
- [2] H. T. Pambudhi, D. and A. A. Z, "Perancangan dan Analisis Antena Mikrostrip dengan Metode Aperture Coupled Feed pada Frekuensi 800 MHz," *Transmisi, Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 12, no. 1, pp. 14-20, 2010.
- [3] R. Y, "Antena and Wave Propagation," Electronics Desk, [Online]. Available: <https://electronicsdesk.com/antena.html>. [Accessed 10 June 2025].
- [4] D. Medianto and M. Y. Hardiman, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Triangular Metode Parasitic Untuk Aplikasi LTE di Frekuensi 2,3 GHz," *Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana* , vol. 9, no. 2, pp. 109-116, 2018.
- [5] M. Darsono and A. T. Pasorong, "Perancangan Antena Mikrostrip Frekuensi 2,6 GHz Metode Simulasi untuk Aplikasi Ground Penetrating Radar (GPR)," *Sistem Kendali Tenaga Elektronika Telekomunikasi Komputer (SETRUM)*, vol. 6, no. 1, pp. 138-146, 2018.
- [6] F. A. Harahap, M. S. Siregar, S. Nurman, N. A. Kusturi and E. Nurmala, "Optimalisasi Penggunaan Radar saat Kapal Berolahgerak di MT. Green Plus," *Jurnal Transportasi dan Bahari*, vol. 1, no. 1, pp. 1-8, 2024.
- [7] The Planetary Society, "Radar Frequency Bands," [Online]. Available: <https://www.planetary.org/space-images/radar-frequency-Bands>. [Accessed 10 June 2025].
- [8] A. A. Kristiono and Y. Natali, "Perancangan Antena Mikrostrip Rectangled dengan Teknik Pencatuan Proximity Coupled pada Frekuensi 3.8 GHz," *eJurnal Mahasiswa Informatika dan Telekomunikasi (eMIT)*, vol. 2, no. 2, pp. 1-8, 2020.
- [9] T. K. Putri, S. Alam and I. Surjati, "Miniaturisasi Antena Mikrostrip Array 4x1 Elemen Menggunakan Teknik Peripheral Slits," *Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Elektronika, dan Listrik Tenaga*, vol. 1, no. 2, pp. 155-122, 2021.
- [10] D. Setiyowati, S. Alam and I. Surjati, "Miniaturization of Microstrip Antenna Using Spiral labyrinth Method at Frequency of Work 3.5 GHz," *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 520-531, 2022.
- [11] S. F. Nurjihan and A. Munir, "Rancang Bangun Filter Bandpass Mikrostrip Pita Sangat Lebar Berbasis Defected Ground Structure," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, vol. 9, no. 1, pp. 104-109, 2020.

- [12] M. M. M. Naik G, D. N. K. S.K and B. B. P, "Performance Analysis of Microstrip Patch Antenna Using Coaxial Probe Feed Technique," *International Journal of Technical Research and Applications*, vol. 3, no. 3, pp. 365-367, 2015.
- [13] . S. Kumar, J. Buckey, J. Barton, M. Pigeon, R. Newberry, M. Rodencal, A. Hajzeraj, T. H. K. Rogers, D. Casey, D. O'Sullivan and B. O'Flynn, "A Wristwatch-Based Wireless Sensor Platform for IoT Health Monitoring Applications," *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*, vol. 20, no. 6, 2020.
- [14] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design* Fourth Edition, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2016.

