

ANTENA PHASED ARRAY 1×16 UNTUK RADAR TIGA DIMENSI S-BAND

PHASED ARRAY ANTENNA 1X16 FOR S-BAND THREE DIMENSION RADAR

Resky Febrian Reza¹, Heroe Wijanto², Yuyu Wahyu³

^{1,2}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Elektro, Universitas Telkom

³Laboratorium Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) – LIPI Bandung

¹reskyfebrianr@gmail.com, ²heroe@telkomuniversity.ac.id, ³yuyu.wahyu@lipi.go.id

Abstrak

Radar (*Radio Detection and Ranging*) merupakan suatu alat pengawasan yang digunakan untuk mengganti mata manusia karena kemampuan mata manusia dalam mengawasi dan mengamati objek-objek cukup terbatas, salah satu jenis radar adalah Radar 3 dimensi, radar ini merupakan radar dengan teknologi yang memiliki kemampuan untuk menentukan jarak, azimuth dan tinggi target dalam sekali pemindaian.

Salah satu metode untuk meningkatkan gain pada antenna yaitu menggunakan antenna *array*. Radar bekerja dengan cara memindai area dengan radius tertentu menggunakan rotator 360° sehingga objek dapat dideteksi disegala arah, dengan menggunakan aplikasi antenna *phased array*, *scanning area* secara mekanik dapat digantikan secara dielektrik, Pada antenna *phased array*, variasi fasa dapat diatur dengan memberikan panjang kabel catu yang berbeda untuk masing-masing elemen antenna *phased array* sehingga dapat menggantikan fungsi rotator dalam melakukan *scanning area* secara menyeluruh.

Tugas akhir ini merancang dan meralisasi antenna mikrostrip vivaldi *phased array* 1x16 yang beroperasi pada frekuensi 2.9 – 3.1GHz. Antena yang telah dirancang memiliki dimensi 105mm x 994mm dan menggunakan FR-4 epoxy sebagai bahan substratnya. Antena yang direalisasikan menghasilkan nilai VSWR sebesar 1.106 Gain 13.826 dB dan pola radiasi unidireksional, pada antenna ini variasi fasa diatur dengan memberikan panjang kabel catu yang berbeda untuk masing masing elemen antenna *phased array* dan terjadi pergeseran fasa dalam pola radiasi azimuth sebesar 25° yang menghasilkan pergeseran beam sebesar 9.7° terhadap *main lobe* di 177°.

Kata Kunci : Radar, S-band, Antena Phased Array.

Abstract

Radar (*Radio Detection and Ranging*) is a monitoring tool used to replace the human eye because the ability of the human eye to monitor and observe objects is quite limited, one type of radar is a 3-dimensional radar, this radar is a radar with technology that has the ability to determine distance, azimuth and target height in one scan.

One method to increase the gain on the antenna using an array antenna. Radar works by scanning an area with a certain radius using a rotator 360° so that the object can be detected in all directions, by using a *phased array* antenna application, mechanically scanning the area can be replaced by a dielectric, on a *phased array* antenna, phase variations can be adjusted by giving different supply cable lengths for each element of the *phased array* antenna so that it can replace the rotator function in scanning the area as a whole.

This final project is to design and realize microstrip vival antenna in 1x16 phased array operating at a frequency of 2.9 - 3.1 GHz. The antenna that has been designed has a dimension of 110mm x 1000mm and uses FR-4 epoxy as its substrate material. The realized antenna produces a VSWR value of 1.106 a gain of 13.826 dB and a unidirectional radiation pattern and in this antenna the phase variation is regulated by giving a different supply cable length for each phased array antenna element and a phase shift in the 25° azimuth radiation pattern that produces shifting the beam by 9.70 against main lobe at 177°.

Keywords : Radar, S-band, Antena Phased Array.

1. Pendahuluan

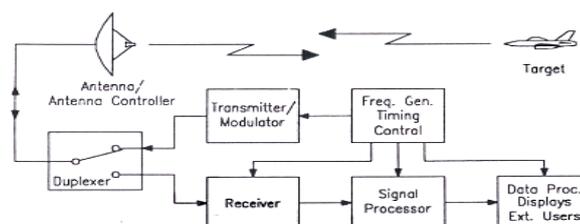
Radar (*Radio Detection and Ranging*) merupakan suatu perangkat yang digunakan untuk memancarkan sinyal gelombang elektromagnetik yang berguna untuk mendeteksi, mengukur jarak dan ketinggian serta memetakan suatu objek [1]. Dengan menggunakan aplikasi antena *phased array*, *scanning area* secara mekanik dapat digantikan secara dielektrik, dimana posisi antena tidak berubah tetapi pola radiasi bisa diarahkan sesuai kebutuhan sehingga dapat melakukan *scanning area* secara menyeluruh dan dapat mendeteksi objek di segala arah[1].

Dalam penelitian sebelumnya dirancang dan disimulasikan sebuah antena *Phased Array* untuk aplikasi radar tiga dimensi [3] tentang perancangan dan realisasi antena *phased array* 4x4 untuk Radar 3D pada frekuensi S-Band dimana kekurangan-kekurangan yang dianggap perlu untuk dikembangkan lebih lanjut adalah dalam hal mendapatkan data sheet bahan dan dalam melakukan pengukuran. Maka pada penelitian ini telah dikembangkan yaitu peneliti merancang dan mengimplementasikan sebuah antena array yang digunakan pada antena *phased array*, antena ini berukuran 1x16 yang bekerja pada frekuensi S-Band dengan fasa antar elemen *variable* sebesar 25°, sehingga pola radiasi antena bisa berubah dengan perubahan fasa dan mencari *datasheet* bahan secara cermat agar tidak ada terjadi kesalahan dalam pencetak ataupun dalam hal lainnya serta melakukan pengukuran ditempat yang mendekati ideal. Dengan spesifikasi tersebut antena *phased array* mampu bekerja dengan baik untuk radar tiga dimensi.

2. Dasar Teori

2.1 Radar 3 Dimensi

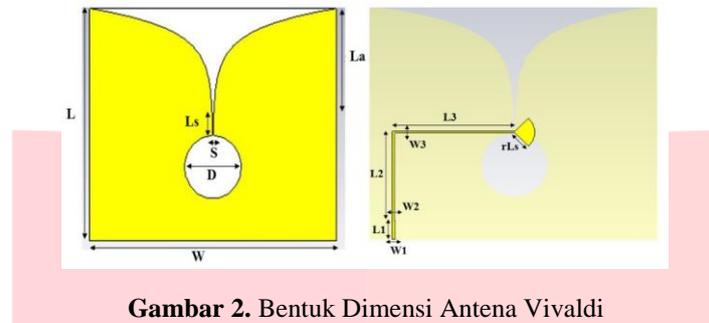
Radar (*Radio Detection and Ranging*) merupakan suatu perangkat yang digunakan untuk memancarkan sinyal gelombang elektromagnetik yang berguna untuk mendeteksi, mengukur jarak dan ketinggian serta memetakan suatu objek [1]. Radar 3 dimensi yaitu Radar yang mampu mendeteksi target hingga radius > 100 km dan mampu mendeteksi dan melacak target diudara dan permukaan, serta mampu mendeteksi target secara bersamaan. Radar 3 dimensi menggunakan teknik *phased array*, *multiple* target dapat dilacak secara bersamaan. Oleh karena itu, penggunaan *phased array* radar tiga dimensi ini digunakan secara luas oleh militer dan sipil sebagai radar *Ground Controlled Interception* [4].



Gambar 1. Blok Diagram Radar 3 Dimensi

2.2 Antena Vivaldi

Antena Vivaldi Adalah antena planar sederhana yang memiliki lintasan yang luas, polarisasi linear dan salah satu jenis antena ini memiliki *beamwidth* yang sempit. Antena ini milik kelas antena slot dengan bentuk eksponensial yang lancip dan aperiodik. Vivaldi antena merupakan tipe khusus dari *Tapered Slot Antena (TSA)* dan antena ini memiliki beberapa keuntungan yaitu memiliki pita frekuensi yang lebar, struktur sederhana dan fabrikasi yang mudah [6]. Pada umumnya antena Vivaldi terdiri slot yang runcing dan tipis yang terbuat dari logam mampu menghasilkan pola radiasi simetris, memiliki bandwidth frekuensi yang besar dan direktivitas tinggi.



Gambar 2. Bentuk Dimensi Antena Vivaldi

Persamaan exponential antena vivaldi sebagai berikut [4] :

$$y(x) = ce^{ka^x} \quad (2.1)$$

Dimana konstanta c dan nilai pembukaan Ka [4] :

$$c = \frac{s}{2} ; Ka = \frac{1}{L_a} \ln\left(\frac{W}{s}\right) \quad (2.2)$$

Persamaan dimensi antena sebagai berikut [3] :

$$W = L = \frac{c}{f_o} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.3)$$

Keterangan :

- W : Panjang dimensi antena
- L : Lebar dimensi antena
- c : Kecepatan cahaya *free space*
- C : Konstanta
- f_o : Frekuensi Kerja antena
- ϵ_r : Konstanta dielektrik
- K_a : Faktor Kelengkungan

2.3 Antena Phased Array

Antena *Phased Array* merupakan antena yang terdiri dari susunan beberapa elemen antena dengan fasa antar elemen sebagai variabel sehingga dengan perubahan fasa pola radiasi antena juga dapat berubah. Dengan kata lain pola radiasinya dilakukan secara elektrik, sehingga lebih sederhana dan efisien dibandingkan secara mekanik/manual[10]. Antena phase array dapat dikendalikan secara elektronik atau digital beamforming. Dalam aplikasinya pada radar mempunyai kelebihan antara lain: gain yang cukup tinggi dengan sidelobe yang rendah, memiliki kemampuan untuk memindahkan beam dari satu target ke target yang lain dalam beberapa mikrodetik, memberikan kemudahan dalam mengarahkan beam dengan kendali computer, dapat berubah – ubah dari metode scanning menjadi metode pencari target, multifungsi operasi dengan memancarkan beam secara bersamaan dalam 1 antena, dan walaupun terjadi kerusakan komponen tunggal yang dapat mengurangi kemampuan dan ketajaman beam tapi sistem tetap beroperasi dengan baik.[3]

2.4 Array Factor [19]

Antena *array* memiliki *Array Factor*(AF) yang merupakan faktor pengali dari medan elektrik dari elemen tunggal yang menentukan pola radiasi antena. Pada susunan antena *linier*, elemen–elemen yang identik di susun dalam 1 garis lurus. Element total pada 2 elemen *array* :

$$E_t = E_1 + E_2 = \bar{a}\phi j\eta \frac{kl_0 l}{4\pi} \left\{ \frac{e^{-j[kr_1 - (\frac{\beta}{2})]}}{r_1} \cos \phi_1 + \frac{e^{-j[kr_2 - (\frac{\beta}{2})]}}{r_2} \cos \phi_2 \right\} \quad (2.6)$$

Array factor untuk 2 elemen array adalah :

$$AF = 2 \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \quad (2.7)$$

$$E_{tot} = E_{single \text{ elemen } r \text{ at reference point}} \times \text{Array Factor} \quad (2.8)$$

Array Factor untuk N-elemen susunan adalah :

$$AF = 1 + e^{+j(kd \cos \theta + \beta)} + e^{+2j(kd \cos \theta + \beta)} + \dots + e^{j(N-1)(kd \cos \theta + \beta)} \quad (2.9)$$

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(N-1)(kd \cos \theta + \beta)} \quad (2.10)$$

Maka :

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)\theta} \quad (2.11)$$

Dimana,

$$\theta = kd \cos \theta + \beta \quad (2.12)$$

Keterangan :

E_1 = medan listrik elemen pertama

E_2 = medan listrik elemen kedua

r_1 = jarak elemen pertama terhadap objek

r_2 = jarak elemen kedua terhadap objek

k = Konstanta pergeseran fasa sebesar $\frac{2\pi}{\lambda}$

d = jarak antar elemen

θ = sudut main beam antenna array

β = beda fasa catuan tiap elemen

a_n = amplitudo elemen tunggal

2.5 Phased Shifter

Phase shifter adalah suatu perangkat/alat yang digunakan untuk mengatur beam atau berkas antenna ke arah yang diinginkan tanpa harus mengubah posisi fisik antenna. Salah satu cara untuk menggeser fasa sinyal dengan memvariasikan panjang kabel pencatu. Untuk menentukan panjang kabel pencatu dapat dirumuskan dengan persamaan berikut [21] :

$$L = \frac{\phi}{2\pi} \lambda \quad (2.13)$$

Keterangan :

ϕ = beda fasa (o)

L = panjang kabel pencatu (cm)

λ = panjang gelombang (cm)

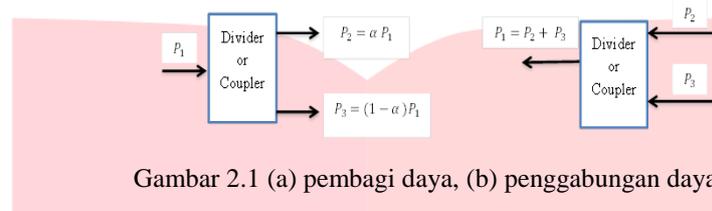
2.6 Matching Impedance

Matching Impedance atau penyesuaian impedansi pada saluran transmisi adalah suatu teknik yang dipakai untuk menyesuaikan dua impedansi yang tidak sama, yaitu impedansi karakteristik saluran (Z_1) dan

impedansi beban (Z_3). Untuk mendapatkan kondisi *matching* maka perlu menambahkan *transformator* $\lambda/4$, dengan cara menambahkan saluran transmisi dengan impedansi Z_T di antara dua saluran transmisi yang tidak sepadan (match) [20].

2.7 Power Divider

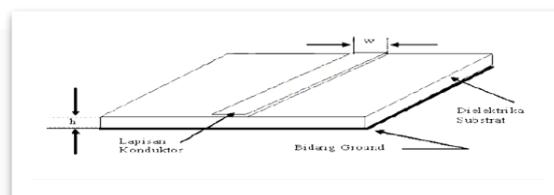
Power Divider adalah komponen microwave pasif yang berfungsi sebagai pembagi daya maupun sebagai penggabung daya (*Power Combiner*) [14]. *Power Divider* menerima sebuah sinyal masukan dan mengirim beberapa sinyal keluaran dengan fasa dan amplitude tertentu. Dalam membagi daya, power divider membagi satu sinyal input (P_1) menjadi dua sinyal output yaitu P_2 dan P_3 . Dalam hal penggabungan daya, *Power Divider* menggabungkan daya atau sinyal dari beberapa input menjadi satu output tunggal seperti pada Gambar 2.4



Gambar 2.1 (a) pembagi daya, (b) penggabungan daya [14]

2.8 Teknik Pencatuan

Pada penelitian ini teknik Pencatuan yang digunakan adalah *Mikrostrip line*, *mikrostrip line* tersusun dari 2 konduktor, yaitu strip dan bidang *ground*, keduanya terpisahkan oleh substrat yang memiliki permitifitas relatif. Parameter yang terpenting pada suatu saluran transmisi adalah impedansi karakteristik Z_0 .



Gambar 3. Mikrostrip Line

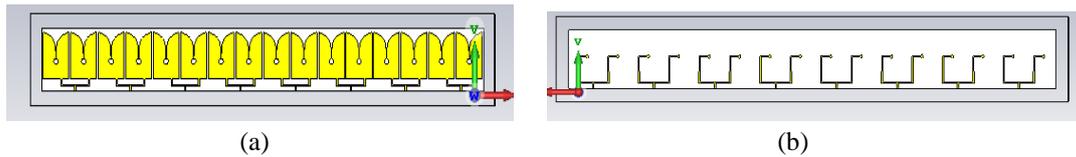
3. Perancangan

Pada Bab ini membahas proses perancangan antenna *phase array* 1x16 yang bekerja pada frekuensi 2.9 – 3.1 Ghz untuk diaplikasikan pada radar 3 dimensi,

1. Spesifikasi Antena Vivaldi yang akan dirancang adalah:
 - b) Desain Antena : *Phased Array* 1x16
 - c) Frekuensi Kerja : 2,9 GHz- 3,1 GHz (*S-Band*)
 - d) Frekuensi Tengah : 3 GHz
 - e) VSWR : ≤ 2
 - f) Gain : ≥ 10 dBi
 - g) Impedansi (Z_0) : 50Ω (Konektor SMA)
 - h) Polarisasi : *Linear*
 - i) Pola Radiasi : *Unidirectional*

2. Perancangan Phased Array

Untuk merealisasikan sebuah antenna, diperlukan sebuah perancangan terlebih dahulu pada simulator. Hal ini bertujuan untuk mengetahui hasil simulasi serta dimensi yang optimal dari suatu antenna. Optimasi akan dilakukan jika hasil simulasi tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Optimasi dilakukan dengan cara mengubah bentuk maupun besaran parameter. Pada perancangan kali ini, dilakukan perancangan 16 elemen. Berikut adalah perancangan antenna phased array 1x16 serta hasil simulasinya.

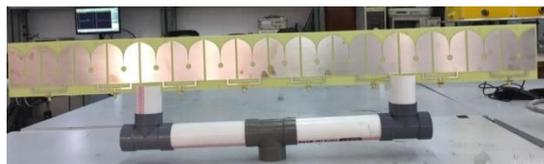


(a) (b)
Gambar 4. (a) antenna tampak depan , (b) antenna tampak belakang

Tabel 1 Parameter Dimensi Setelah Optimisasi

Parameter	Dimensi Sesudah Optimisasi (mm)	Keterangan
L	81.3	Panjang dimensi
La	41	Panjang Kurva
Ls	5	Jarak kurva dan lingkaran
W	58	Lebar dimensi
C	$d*2$	Lingkaran belakang
D	5	Diameter lingkaran
Fp	15	Jarak menuju saluran 50 Ω
Hp	0,035	Tebal patch
Hs	1,6	Tebal substrat
L1	10	Panjang Saluran 50 Ω
L2	29	Panjang Saluran 60 Ω
L3	17.5	Panjang Saluran 70 Ω
W1	3.109	Lebar Saluran 50 Ω
W2	2.256	Lebar Saluran 60 Ω
W3	1.6586	Lebar Saluran 70 Ω
S	0,4	Lebar Gap
X	0.01	Konstanta pembantu
Jarak	4	Jarak antar elemen antenna
Wtot	9880	Lebar dimensi 1x16
Ltot	1840	Panjang Keseluruhan Dimensi

3. Realisasi Antena



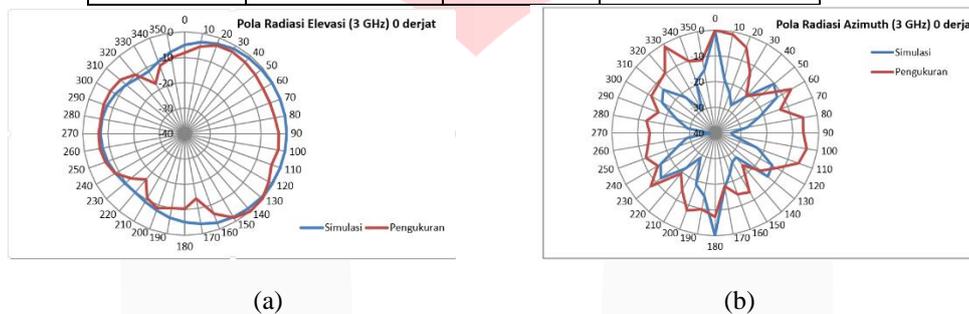
Gambar 5. Realisasi antenna phased array 1x16

4. Pengukuran dan Analisis

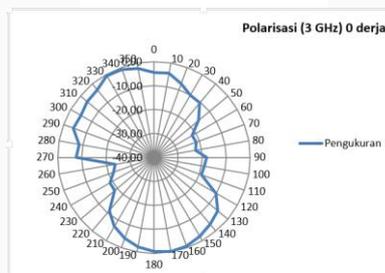
Setelah dilakukan realisasi antenna hasil optimal dari simulasi maka dilakukan tahap selanjutnya yaitu pengukuran. Pengukuran dilakukan pada medan dekat dan medan jauh. Pengukuran medan dekat menggunakan perangkat Network Analyzer untuk melihat nilai return loss, VSWR, bandwidth dan impedansi antenna. Pengukuran medan jauh untuk mengukur polaradiasi, polarisasi, gain, dan pergeseran beam maksimum. Perangkat yang digunakan saat medan jauh yaitu Signal Generator, Spectrum Analyzer, Antenna Under Test (AUT), Antena phased array 1x16 dan Antena Horn. Pada pengukuran pergeseran fasa, menggunakan device Power Divider, Phase Shifter, dan AUT.

Tabel 2. Nilai VSWR simulasi dan Pengukuran

Antena	Frekuensi (GHz)	VSWR Simulasi	VSWR Pengukuran
1	3	1.038	1.106
2	3	1.009	
3	3	1.016	
4	3	1.0109	
5	3	1.0108	
6	3	1.0115	
7	3	1.0098	
8	3	1.019	

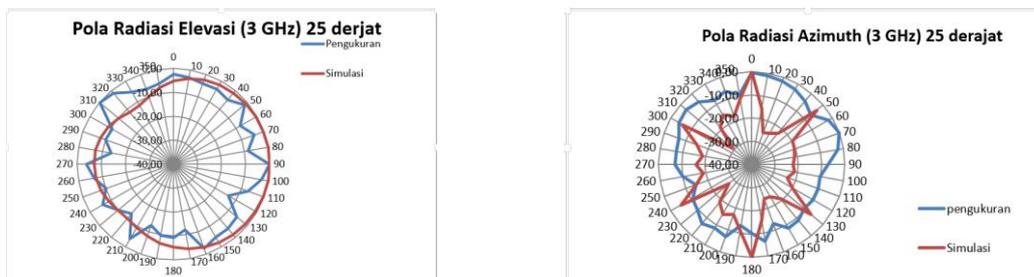


Gambar 6. Hasil Pengukuran Pola Radiasi (a) Arah Elevasi, (b) Arah Azimuth



Gambar 7 Hasil Pengukuran Polarisasi

Dari hasil simulasi dan pengukuran terdapat perbedaan, namun tidak terlalu signifikan. Perbedaan yang terjadi disebabkan oleh kondisi lingkungan yang tidak ideal saat pengukuran sehingga pengukuran menjadi kurang akurat. Antena phased array 16 elemen hasil perancangan dan realisasi telah diverifikasi memiliki nilai gain sebesar 11,32 dBi pada frekuensi 3GHz, berbeda 3 dBi dari hasil simulasi yaitu 14.1 dB.



Gambar 12(a) Pengukuran Pergeseran Beam Maksimum 90°, (b) Pengukuran Pergeseran Beam Maksimum 180°

5. Kesimpulan

Berikut beberapa kesimpulan yang didapat setelah melakukan penelitian :

1. Perancangan antenna mikrostrip vivaldi pada CST Studio Suite 2016 mampu beroperasi pada frekuensi S-BAND 2.9-3.1GHz dengan ukuran dimensi substrat sebesar 105 mm x 994 mm dengan *gain* yang paling bagus pada saat pengukuran nilainya 13.826 dB pada frekuensi 3GHz, nilai VSWR 1.106, dan nilai *Return loss* -26.29. Parameter-parameter pengukuran Antena sudah memenuhi syarat dari spesifikasi perancangan awal antenna, dan hasil dari pengukuran parameter-parameter tersebut tidak terlalu jauh berbeda dengan hasil simulasi.
2. Penelitian tugas akhir ini dilakukan di dalam ruangan yang bersifat *anechoic* sehingga jika diterapkan di ruangan biasa ataupun di luar ruangan akan terjadi redaman yang lebih besar yang mengakibatkan daya terima semakin kecil.
3. Simulasi antenna pada CST Studio Suite 2016 sudah dirancang sedemikian rupa pada kondisi yang ideal dan tidak ada gangguan sehingga beberapa hal yang terjadi di dunia nyata dapat mempengaruhi performa alat yang telah direalisasikan.

Daftar Pustaka

- [1] D. K. Barton and S. A. Leonov, *Radar technology encyclopedia*. 1997.
- [2] L. Aditama, A. Fahmi, and E. Ali, "Desain dan Implementasi Radar Jarak Pendek Design and Implenetation of Short Range Radar System," vol. 2, no. 3, pp. 6932–6938, 2015.
- [3] N. Safitri, "PHASED ARRAY ANTENNA 4×4 PADA FREKUENSI S-BAND UNTUK RADAR 3D DESIGN AND REALIZATION 4×4 ," 2017.
- [4] T. Shu, B. Tang, M. Zhang, X. Liu, and W. Yu, "Advanced digital beamforming technique for target height finding in phased array 3D radar systems," *IEEE Int. Symp. Phased Array Syst. Technol.*, pp. 704–708, 2013.
- [5] F. T. Ui, "Rancang bangun simulasi..., Muhammad Kaukab, FT UI," 2008.
- [6] Y. Yang, Y. Wang, and A. E. Fathy, "Design of Compact Vivaldi Antenna Arrays for Uwb See Through Wall Applications," *Prog. Electromagn. Res.*, vol. 82, pp. 401–418, 2008.
- [7] G. K. Pandey, H. S. Singh, P. K. Bharti, A. Pandey, and M. K. Meshram, "High Gain Vivaldi Antenna for Radar and Microwave Imaging Applications," *Int. J. Signal Process. Syst.*, vol. 3, no. 1, pp. 35–39, 2014.
- [8] C. a. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, vol. 28, no. 3. 2012.
- [9] Y. Erdogan, "Parametric Study and Design of Vivaldi Antennas and Arrays," no. March, 2009.
- [10] Z. Fatimah, "PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA PHASED ARRAY MIKROSTRIP 1×4 X-BAND Zillya," vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2014.
- [11] J. D. Kraus and R. J. Marhefka, "Antennas for all applications," *Antennas for all applications, by Kraus, John Daniel; Marhefka, Ronald J. New York: McGraw-Hill, c2002.*, vol. 1, no. 34. pp. 6307–6311, 2002.
- [12] Iulian Rosu, "Phase shifters," *Group*, pp. 200–212, 1999.
- [13] K. H. and M. S. Mahdi, "((Design of Five Bit Digital Phase Shifter))," pp. 169–179, 2012.
- [14] D. Pozar, *Microwave Engineering Fourth Edition*. 2005.