

**DESAIN DAN FABRIKASI ANTENA MIKROSTRIP
DENGAN *H-SLOT* UNTUK APLIKASI
RADAR HUJAN**



**DEFRITA SUKMA
NIM. 18034075/2018**

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2022**

**DESAIN DAN FABRIKASI ANTENA MIKROSTRIP
DENGAN *H-SLOT* UNTUK APLIKASI
RADAR HUJAN**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains*



Oleh :

DEFRITA SUKMA

NIM. 18034075/2018

**PROGRAM STUDI FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2022**

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

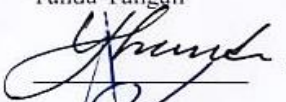
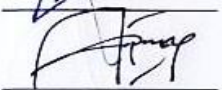
Nama : Defrita Sukma
NIM : 18034075
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

DESAIN DAN FABRIKASI ANTENA MIKROSTRIP DENGAN *H-SLOT* UNTUK APLIKASI RADAR HUJAN

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 08 Juni 2022

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	: Yohandri, M.Si., Ph.D.	1. 
2. Anggota	: Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si.	2. 
3. Anggota	: Dr. Asrizal, M.Si.	3. 

PERSETUJUAN SKRIPSI

DESAIN DAN FABRIKASI ANTENA MIKROSTRIP DENGAN *H-SLOT* UNTUK APLIKASI RADAR HUJAN

Nama : Defrita Sukma
NIM : 18034075
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

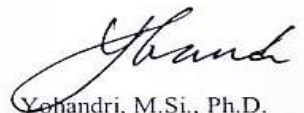
Padang, 08 Juni 2022

Mengetahui
Kepala Departemen Fisika



Dr. Ratnawulan, M.Si.
NIP. 196901201993032002

Disetujui Oleh:
Pembimbing



Yohandri, M.Si., Ph.D.
NIP. 197807252006041003

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Defrita Sukma
NIM/TM : 18034075/2018
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : FMIPA

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi saya dengan judul : "Desain dan Fabrikasi Antena Mikrostrip dengan *H-Slot* untuk Aplikasi Radar Hujan" adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di Institusi UNP maupun dimasyarakat dan hukum Negara.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Saya yang menyatakan,



Defrita Sukma

NIM. 18034075

DESAIN DAN FABRIKASI ANTENA MIKROSTRIP DENGAN *H-SLOT* UNTUK APLIKASI RADAR HUJAN

Defrita Sukma

ABSTRAK

Hujan menghasilkan beberapa tipe curah hujan, yang disebabkan faktor geografis. Sistem pendeteksi hujan spasial (Santanu) merupakan radar deteksi hujan yang beroperasi pada frekuensi kerja X-band 9410 ± 30 MHz. Santanu memiliki antenna dan pedestral dengan berat 22 Kg dan jangkauan ± 44 Km. Berat antenna yang mencapai 22 Kg menjadikan santanu tidak *portable*. Oleh karena itu, diperlukan desain antenna mikrostrip *low-profile*, ringan, dan murah biaya produksi untuk aplikasi radar hujan.

Jenis penelitian yang digunakan penelitian rekayasa, dan teknik pengukuran langsung. Pada penelitian ini akan diusulkan antenna mikrostrip dengan *H-slot* untuk aplikasi radar hujan. Frekuensi kerja yang diusulkan adalah 9.4 GHz. Antena dibuat menggunakan substrat NPCH-220A dengan konstanta dielektrik 2,17 dan ketebalan substrat 1,5 mm. Penambahan *H-slot* meningkatkan nilai karakteristik antenna.

Hasil simulasi antenna mikrostrip yang diusulkan menghasilkan *bandwidth* 376 MHz pada rentang frekuensi 9,2090 GHz hingga 9,5850 GHz. Nilai VSWR dan impedensi masukan pada frekuensi 9,4 GHz adalah 1,0147 dan 50,8330 Ohm. Gain yang dihasilkan adalah 6,2858 dBi dengan polarisasi linear. Hasil pengukuran antenna fabrikasi menunjukkan antenna bekerja pada frekuensi 9,2096 GHz hingga 9,5855 GHz. Nilai VSWR dan impedensi masukan pada frekuensi 9,4 GHz adalah 1,2977 dan 51,9012 Ohm. Dari hasil penelitian, karakteristik antenna mikrostrip dengan *H-slot* dapat memenuhi kriteria radar hujan Santanu.

Kata kunci : antenna mikrostrip, *H-slot*, radar hujan Santanu

DESIGN AND FABRICATION OF MICROSTRIP ANTENNAS WITH H-SLOT FOR RAIN RADAR APPLICATION

Defrita Sukma

ABSTRACT

Rain produces several types of rainfall, which are caused by geographical factors. The spatial rain detection system (Santanu) is a rain detection radar that operates on the X-band working frequency of 9410 ± 30 MHz. Santanu has an antenna and pedestal with a weight of 22 Kg and a range of ± 44 Km. The weight of the antenna which reaches 22 Kg makes it unportable. Therefore, it is necessary to design a low-profile, lightweight, and low-cost microstrip antenna for rain radar applications.

This type of research used engineering research, and direct measurement techniques. In this research, a microstrip antenna with H-slot will be proposed for rain radar applications. The proposed working frequency is 9.4 GHz. The antenna was made using an NPCH-220A substrate with a dielectric constant of 2.17 and a substrate thickness of 1.5 mm. The addition of the H-slot increases the value of the antenna characteristics.

The simulation results of the proposed microstrip antenna produce a bandwidth of 376 MHz in the frequency range 9.2090 GHz to 9.5850 GHz. The VSWR and input impedance values at a frequency of 9.4 GHz are 1.0147 and 50.8330 Ohms. The resulting gain is 6.2858 dBi with linear polarization. The measurement results of the fabricated antenna show that the antenna works at a frequency of 9.2096 GHz to 9.5855 GHz. The value of VSWR and input impedance at frequency 9.4 GHz is 1.2977 and 51.9012 Ohm. From the research results, the characteristics of the microstrip antenna with an H-slot can meet the criteria for the Santanu rain radar.

Keywords: microstrip antenna, H-slot, Santanu rain radar

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT, karena atas segala rahmat, nikmat dan karunia-Nya peneliti dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam senantiasa kita curahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Judul dari penelitian ini adalah **“Desain dan Fabrikasi Antena Mikrostrip dengan H-slot untuk Aplikasi Radar Hujan”** disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

Penelitian ini diselesaikan atas bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Yohandri, M.Si, Ph.D sebagai Pembimbing Akademik sekaligus Pembimbing atas segala bantuannya yang tulus dan ikhlas memberikan motivasi, bimbingan, arahan dan saran dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si dan Bapak Dr. Asrizal, M.Si sebagai dosen penguji skripsi yang telah meluangkan waktu untuk memberikan masukan, kritikan dan pandangan kepada peneliti untuk menyempurnakan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si selaku Kepala Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
4. Ibu Syafriani, M.Si, Ph.D sebagai Kepala Prodi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
5. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Fisika FMIPA UNP.
6. Staf administrasi dan Laboran di Laboratorium Fisika FMIPA UNP.

7. Keluarga tercinta serta seluruh orang tersayang yang telah memberikan motivasi, bantuan material, non material, serta kasih sayang dan dukungan kepada peneliti.
8. Rekan-rekan dan semua pihak yang telah ikut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Dalam penyusunan skripsi ini peneliti menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, diharapkan adanya kritikan dan saran dari pembaca untuk menyempurnakan skripsi ini. Sehingga, skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca sebagai referensi serta sebagai sarana untuk menambah ilmu pengetahuan dan informasi.

Padang, Mei 2022

Peneliti

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Batasan Masalah	4
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	6
A. Hujan	6
B. Radar Hujan Santanu	7
C. Analisis <i>H-slot</i>	9
D. Antena Mikrostrip	11
E. Parameter Antena	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
A. Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian	19
B. Alat dan Bahan	19
C. Jenis Penelitian	19
D. Data dan Variabel Penelitian	20
E. Prosedur Penelitian	21
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	26
A. Hasil Penelitian	26
B. Pembahasan	36
BAB V PENUTUP.....	41
A. Kesimpulan	41
B. Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Alur sistem operasi SANTANU	9
2. <i>H-slot</i> pada <i>patch</i> antena mikrostrip.....	10
3. Antena Mikrostrip	11
4. Bentuk <i>patch</i>	12
5. Bentuk polarisasi	17
6. Tahapan penelitian rekayasa	20
7. <i>Toplayer</i> desain antena mikrostrip dengan penambahan <i>H-slot</i>	23
8. Diagram alir desain dan fabrikasi antena mikrostrip	24
9. Geometri antena : (a) tanpa <i>H-slot</i> , (b) menggunakan satu <i>H-slot</i> , dan (c) menggunakan <i>H-slot</i> yang diusulkan	27
10. Hasil simulasi antena dari desain Antena I, Antena II dan Antena III. (a) <i>return loss</i> , (b) VSWR, (c) impedensi masukan, (d) <i>gain</i> dan (e) <i>axial ratio</i>	28
11. Hasil simulasi antena dengan variasi nilai x. (a) <i>return loss</i> , (b) VSWR, (c) impedensi masukan, dan (d) <i>gain</i>	30
12. Hasil simulasi antena dengan variasi nilai y. (a) <i>return loss</i> , (b) VSWR, (c) impedensi masukan, dan (d) <i>gain</i>	31
13. Hasil simulasi antena dengan variasi nilai z. (a) <i>return loss</i> , (b) VSWR, (c) impedensi masukan, dan (d) <i>gain</i>	33
14. Fabrikasi antena. (a) <i>top layer</i> , (b) <i>back layer</i>	34
15. Hasil simulasi dan pengukuran antena dengan variasi nilai x. (a) <i>return loss</i> , (b) VSWR, dan (c) impedensi masukan	35

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Spesifikasi Radar Hujan SANTANU	8
2. Spesifikasi Sistem SANTANU	9
3. Spesifikasi Karakteristik antena	22
4. Dimensi Antena	23

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Pembuatan desain antena dan simulasi pada <i>software</i> CST Studio Suite	44
2. Dokumentasi fabrikasi dan pengukuran	46
3. Data hasil simulasi antena yang telah dioptimasi	48
4. Data hasil pengukuran	72

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Hujan merupakan suatu proses fisis yang diakibatkan fenomena cuaca. Cuaca adalah sistem yang kompleks sehingga dapat dimaklumi jika para modular cuaca atau peramal cuaca meleset dalam perkiraannya. Hujan di Indonesia menghasilkan beberapa tipe curah hujan, yang disebabkan oleh faktor fisiografis wilayah Indonesia terhadap unsur cuaca. Tipe curah hujan yang terjadi di wilayah Indonesia, yaitu tipe ekuatorial, tipe monsoon dan tipe lokal (Tukidi, 2010). Curah hujan didefinisikan sebagai tinggi air hujan (dalam mm) yang diterima permukaan sebelum terjadi aliran permukaan, evaporasi dan peresapan kedalam tanah. Jumlah curah hujan rata-rata yang turun di berbagai tempat di Indonesia dalam setahun berkisar antara 500 mm sampai lebih dari 5000 mm, sehingga tidak seluruh wilayah Indonesia mempunyai iklim basah. Curah hujan 500 mm dalam setahun, sudah mendekati gurun untuk daerah panas (Tukidi, 2007).

Curah hujan merupakan parameter yang memiliki tingkat variabilitas tinggi terhadap lokasi, maupun waktu yang mencakup variasi bulanan, harian, musiman dan tahunan. Variasi curah hujan tersebut akan mempengaruhi bidang-bidang yang berkaitan dengan pemanfaatan data curah hujan (Triana, 2014). Salah satu bentuk pemanfaatan data curah hujan yaitu, digunakan untuk menganalisis perilaku curah hujan di atas Kototabang saat bulan basah dan bulan kering, yang diteliti oleh Eddy Hermawan (2009). Pada penelitian Eddy, analisis curah hujan di atas Kototabang ditinjau dari hasil pengukuran *Mini Automatic Weather Station* (MAWS) dan *Optical Rain Gauge* (ORG). Berdasarkan hasil pemantauan data

MAWS dan ORG, curah hujan yang terjadi di atas Kototabang tidak selalu berasal dari daerah Kototabang, akan tetapi berasal dari daerah lain. Hal tersebut teramati dengan jelas dari data XDR (*X-band Doppler Radar*), yang menunjukkan distribusi atau sebaran awan yang ada di atas Kototabang.

X-band Doppler Radar (XDR) merupakan alat yang berfungsi untuk memperoleh data awan, berupa sebaran, posisi dan arah penjarangannya. XDR bekerja pada frekuensi 9,74 MHz dengan diameter antena 1,2 m dan berat 250 kg. XDR beroperasi hanya sampai tahun 2012 (LAKIN LAPAN). Karena XDR tidak lagi beroperasi, LAPAN memperkenalkan Sistem Pendeteksi Hujan Spasial (SANTANU) pertama kali pada 22 Juni 2016. SANTANU dikembangkan dari teknologi X-band radar kapal menjadi radar deteksi hujan oleh LAPAN. SANTANU bekerja dengan memanfaatkan *noise* hujan dari radar kapal untuk memantau lokasi hujan, intensitas hujan, serta pergerakan hujan. SANTANU beroperasi pada frekuensi kerja 9410 ± 30 MHz. Polarisasi pancaran antenanya adalah horizontal, dengan tipe antena *slotted waveguide array*. Berat antena dan pedestal pada SANTANU yaitu 22 kg dengan jangkauan ± 44 km (Majalah LAPAN). SANTANU kurang efisien dalam penggunaan diantaranya, antena akan bergerak mengikuti arah angin sehingga daerah yang dijangkau radar juga berdasarkan arah angin karena polarisasi antena yang berbentuk horizontal. Berat antena mencapai 22 Kg, menjadikan SANTANU tidak *portable*. Harga radar yang mahal menjadikan SANTANU sulit untuk didapatkan, sehingga ketika mengalami kerusakan akan membutuhkan biaya yang besar untuk perbaikan atau untuk membeli radar baru.

Untuk mengatasi masalah diatas, dirancang antenna mikrostrip bentuk *low-profile* dan ringan yang dapat digunakan untuk aplikasi radar hujan. Beberapa penelitian terdahulu menghasilkan antenna mikrostrip yang dapat bekerja pada frekuensi kerja X-band 9410 ± 30 MHz. Salah satunya antenna mikrostrip *patch rectangular* 8 elemen sebagai aplikasi dari cuaca yang bekerja pada frekuensi X-band dengan rentang 9,37-9,43 GHz. Hasil pengukuran VSWR fabrikasi antenna tidak memenuhi standar spesifikasi, gain antenna yang terealisasi hanya mencapai 8,76 dB, polarisasi ellips dan pemasangan konektor di setiap *single patch* (Egi, 2017). Dalam penelitian lain, dihasilkan antenna radar cuaca pada frekuensi X-band 9,4 GHz *patch* yang dirancang berbentuk *L array*. Hasil pengukuran parameter antenna seperti VSWR, *bandwidth*, dan *return loss* bernilai 1,21, 570 MHz dan -20,18 dB sehingga memenuhi spesifikasi yang diajukan. Untuk nilai impedensi masukan sudah mendekati 50 ohm yang bernilai 47,02 ohm. Sedangkan bentuk polarisasi antenna yang dihasilkan berupa *elips* sehingga belum memenuhi spesifikasi yang diajukan. Hal ini dikarenakan *patch* yang berbentuk *L array* hanya dapat meningkatkan *bandwidth* dan sedikit nilai *axial ratio* antenna (Fajar,2019). Penelitian lain terkait antenna yaitu, menambahkan *H-slot* dalam perancangan antenna mikrostrip mimo 8×8 *array* 2 *Patch rectangular* untuk radio akses 5G frekuensi 15 GHz. Hasil penambahan *H-slot* pada antenna dapat melebarkan *bandwidth* hingga 1 GHz, yang dapat ditinjau dari nilai VSWR. Akan tetapi, pada penelitian ini mengharuskan untuk memasang konektor disetiap *array patch* (Adhie,2017). Namun, penelitian dengan penambahan *slot* yang dianalisis pada frekuensi kerja 15GHz dan 28 GHz (untuk pengaplikasian sistem komunikasi 5G).

Berdasarkan permasalahan dan keterbatasan penelitian sebelumnya, maka dalam penelitian didesain antenna mikrostrip *single patch* dengan *H-slot*. Penambahan *H-slot* bertujuan meningkatkan nilai karakteristik antenna mikrostrip. Karakteristik yang ditingkatkan yaitu *bandwidth* antenna, penambahan *H-slot* dapat meningkatkan *bandwidth* sebesar 21,2% (Ather dan Singhal ,2013). Antena dengan *H-slot* yang akan dianalisis dapat bekerja pada frekuensi tengah yang diusulkan yaitu 9,4 GHz. Desain antenna dibuat dalam bentuk *single patch* sehingga terlihat lebih sederhana dan mudah difabrikasi. Hasil fabrikasi antenna diharapkan memiliki polarisasi linear. Antena mikrostrip di desain menggunakan *software* CST Studio Suite.

Berdasarkan uraian diatas, pada penelitian ini telah didesain dan difabrikasi antenna mikrostrip yang dapat bekerja pada frekuensi X-band dengan judul penelitian “Desain dan Fabrikasi Antena Mikrostrip dengan *H-slot* untuk Aplikasi Radar Hujan”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka rumusan masalah penelitian yaitu bagaimana desain dan karakteristik antenna mikrostrip dengan *H-slot* untuk aplikasi radar hujan?

C. Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terfokus, maka diperlukan beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. *Software* yang digunakan untuk desain dan simulasi yaitu CST Studio Suite.
2. Frekuensi tengah antenna mikrostrip yaitu 9,4GHz.

3. Fabrikasi antena mikrostrip menggunakan substrat Nippon Pillar Packing (NPC-H220A).
4. Pengukuran *return loss*, VSWR, dan impedansi masukan antena mikrostrip.
5. Fabrikasi antena mikrostrip yang dilakukan baru sebatas memastikan apakah karakteristik antena mikrostrip memenuhi kriteria radar hujan Santanu.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian :

1. Menyelidiki pengaruh dimensi antena terhadap karakteristik antena mikrostrip.
2. Memfabrikasi antena mikrostrip dengan karakteristik yang dapat memenuhi kriteria radar hujan Santanu.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Menghasilkan antena mikrostrip dengan *H-Slot* dengan karakteristik yang memenuhi kriteria radar hujan Santanu.
2. Memberi informasi tentang desain antena mikrostrip dengan *H-slot* untuk aplikasi radar hujan.
3. Dapat dijadikan ide penelitian berikutnya.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Hujan

Hujan merupakan faktor iklim terpenting di Indonesia karena keragaman temporal dan spasialnya yang besar. Oleh karena itu, penelitian tentang penelitian iklim berfokus terutama pada hujan. Hujan adalah salah satu bentuk presipitasi (kondensasi uap yang kemudian jatuh ke tanah, dalam proses siklus hidrologi) (Sosrodarsono, 2006). Curah hujan adalah kondensasi uap yang jatuh ke tanah dalam proses siklus air (Sosrodarsono, 2006). Menurut Triatmodjo (2009), hujan adalah reservoir baik di atas maupun di bawah permukaan bumi, dan merupakan sumber dari semua air yang mengalir di permukaan bumi. Hujan yang jatuh pada Daerah Aliran Sungai (DAS) menjadi Daerah Aliran Sungai (DAS). Oleh karena itu, hubungan antara curah hujan dan limpasan tergantung pada cekungan (Prayuda, 2015).

Hujan merupakan suatu proses fisis yang dihasilkan fenomena cuaca. Menurut Kartasapoetra (2004), “cuaca adalah keadaan atau kelakuan atmosfer pada waktu tertentu yang sifatnya berubah-ubah dari waktu ke waktu”. Cuaca merupakan variasi atmosfer dalam jangka pendek, dimana kondisi atmosfer yang dinamis berubah dalam waktu singkat (dalam jam atau dalam hari) (Lakitan, 2002). Hujan merupakan bentuk presipitasi uap air, berasal dari awan yang terdapat di atmosfer. Bentuk lain presipitasi lainnya adalah salju dan es (Kartasapoetra, 2004). Terjadinya hujan memerlukan titik-titik kondensasi, amoniak, debu dan asam belerang. Titik-titik kondensasi dapat mengambil uap air dari udara.

Curah hujan didefinisikan sebagai tinggi air hujan (dalam mm) yang diterima permukaan sebelum terjadinya aliran permukaan, evaporasi, dan peresapan atau perembesan air ke dalam tanah. Jumlah hari hujan dibatasi oleh jumlah hari dengan tinggi curah hujan 0,5 mm atau lebih. Jumlah hari hujan dapat dinyatakan per minggu, decade, bulan, tahun, atau satu periode tanam (Handoko, 1993). Jumlah curah hujan 1 mm menunjukkan tinggi air yang menutupi permukaan 1 mm, jika air tidak meresap ke dalam tanah atau menguap ke atmosfer (Tjasjono, 2004). Curah hujan di Indonesia memiliki tiga tipe yaitu tipe ekuatorial, tipe *monsoon* dan tipe lokal. Tipe-tipe curah hujan dipengaruhi oleh faktor fisiografis wilayah Indonesia, faktor fisis seperti posisi lintang, ketinggian tempat, pola angin (angin pasat dan angin monsoon), sebaran daratan dan perairan, serta pegunungan dan gunung-gunung tinggi (Tukidi, 2010).

B. Radar Hujan Santanu

Radar (*Radio Detection and Ranging*) merupakan sistem gelombang elektromagnetik yang digunakan untuk mendeteksi, mengukur jarak, ketinggian serta memetakan suatu objek. Radar dapat dimanfaatkan sebagai pendeteksi pesawat, kapal, *spacecraft*, misil, kendaraan bermotor, cuaca dan lain sebagainya (Merril, 1990).

Sinyal pantul tersebut akan ditangkap kembali oleh radar. Daya sinyal pantul yang ditangkap radar sangat kecil karena redaman yang didapatkan sangat besar. Akan tetapi, sinyal tersebut dapat terdeteksi karena sistem radar memiliki nilai *gain* yang besar (Angga, 2012).

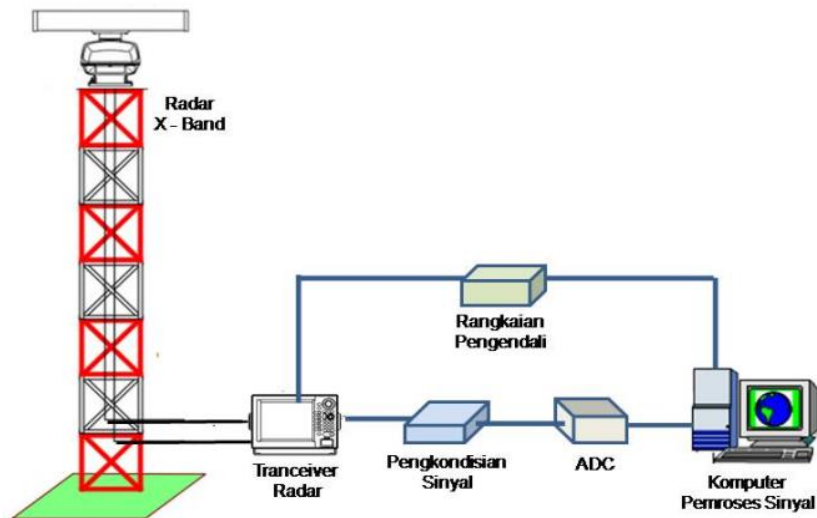
Salah satu kawasan Sumatera Barat tepatnya Kototabang (BPAA LAPAN Agam), merupakan daerah yang memiliki fasilitas radar yang lengkap sehingga dapat meneliti karakteristik curah hujan. SANTANU merupakan sistem pemantau hujan spasial yang mengembangkan teknologi radar kapal. Radar kapal yang digunakan beroperasi pada frekuensi 9410 ± 30 MHz. Power yang digunakan sebesar 4 kW, polariasi pancaran horizontal, dengan tipe antena *slotted waveguide array*. Untuk spesifikasi lebih detailnya dapat dilihat pada Tabel 1. SANTANU memanfaatkan *noise* hujan dari radar kapal untuk memantau lokasi, intensitas, serta pergerakan hujan dalam wilayah cakupan radar.

Tabel 1. Spesifikasi Radar Hujan SANTANU

Parameter	Keterangan
Frekuensi operasi	9410 ± 30 MHz (X-Band)
Jangkauan deteksi	44 Kilometer (maksimum)
Resolusi spasial	240x240 meter
Resolusi temporal	2 menit
<i>Peak power</i>	4 kW
Polarisasi	Horizontal
<i>Input</i> tegangan	10.8 – 41.6 Volt (61 Watt)
Berat antena dan pedestal	22 Kg
Intensitas radiasi	100 Watt

Dalam sistem radar hujan SANTANU ada beberapa komponen yang terlibat yaitu antena radar, transceiver radar, rangkaian pengendali, ADC, PC pemroses sinyal. Alur pengoperasian sistem santanu dapat dilihat pada Gambar 1, dan untuk

spesifikasi sistem SANTANU dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 1. Alur sistem operasi SANTANU (LAPAN)

Tabel 2. Spesifikasi Sistem SANTANU

Spesifikasi	Keterangan
Analog Digital Converter	10 MS/detik, resolusi 16 bit
Pengolahan Sinyal	LAPAN-RadarSigcon.V.1
Pengolahan Data	-PC Desktop -Sistem Operasi Windows -Software MATLAB
Visualisasi Data	Tampilan berbasis Web (Overlay Google Map)

C. Analisis H-Slot

Salah satu kekurangan dari antenna mikrostrip yaitu memiliki *bandwidth* yang sempit. Penambahan *slot* pada antenna merupakan salah satu teknik yang dapat meningkatkan *bandwidth* antenna. *Slot* yang ditambahkan pada antenna memiliki bentuk yang beragam seperti U, H, T, E dan V. Berdasarkan penelitian (Ather

dan Singhal, 2013) penambahan *H-slot* dapat meningkatkan *bandwidth* sebesar 21,2%, sedangkan penambahan *U-slot* dapat meningkatkan *bandwidth* sebesar 50,7%.

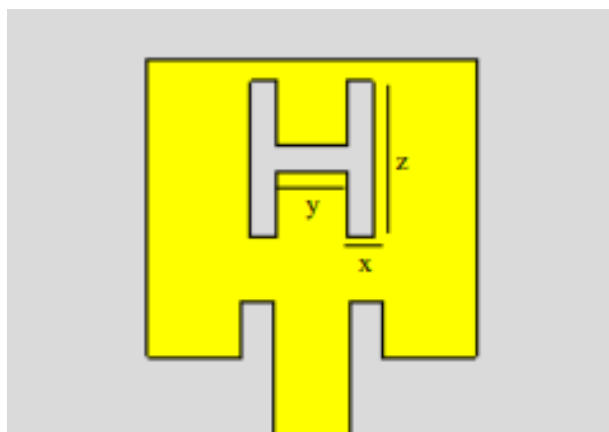
Pemilihan *H-slot* dalam penelitian dikarenakan bentuknya yang sederhana (Adhie, dkk., 2017). Antena yang memiliki *slot* dapat menyebabkan terjadinya *coupling* induktif. Semakin besar efek *coupling* induktif maka berdampak besar pada berkurangnya Q-factor. Hal tersebut mempengaruhi *bandwidth* semakin besar (Aruna, dkk., 2017).

Perhitungan dimensi dari *H-slot* menggunakan Persamaan (1)-(3) (Adhie, dkk., 2017). Penambahan *H-slot* pada *patch* antena dapat dilihat pada Gambar 2.

$$x = \frac{\lambda_0}{60} \quad (1)$$

$$\frac{z}{W} \geq 0,3 \quad (2)$$

$$y = \frac{c}{f_{low} \sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2 (L - 2\Delta L - E) \quad (3)$$

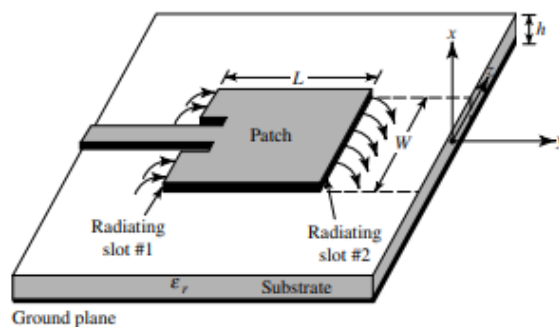


Gambar 2. *H-Slot* pada *patch* antena mikrosrip

D. Antena Mikrostrip

Antena didefinisikan sebagai perangkat yang terbuat dari logam atau kawat. Perangkat ini berguna untuk menggerakkan energi elektromagnetik dari sumber pemancar ke antena atau dari antena ke penerima. Antena merupakan daerah transisi antara ruang bebas yang dihubungkan oleh perangkat pembimbing atau saluran transmisi berupa kabel koaksial atau pandu gelombang, sehingga antena berfungsi sebagai pemancar atau penerima gelombang (Balanis, 2005).

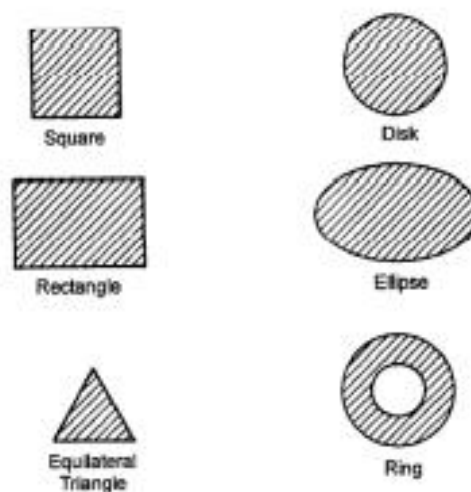
Antena mikrostrip merupakan jenis antena yang memiliki susunan *patch* metalik pada suatu substrat *grounded*. Bentuk antena mikrostrip seperti potongan atau bidang yang sangat tipis secara fisik, akan tetapi mampu bekerja pada frekuensi yang sangat tinggi. Penggunaan antena mikrostrip sangat cocok digunakan pada perangkat telekomunikasi yang sangat mempertimbangkan ukuran dan bentuk antena. Bentuk antena didesain untuk memperoleh karakteristik yang akan bekerja sesuai fungsi antena (Balanis, 2005). Secara umum antena mikrostrip memiliki empat bagian. Bagian tersebut akan mempengaruhi nilai keluaran desain yang dibuat. Bagian-bagian antena mikrostrip tersebut terdiri dari elemen radiator, substrat, *ground* dan *feeding* terlihat seperti Gambar 3.



Gambar 3. Antena mikrostrip (Balanis, 2005)

Radiator merupakan elemen (*patch*) yang terletak pada bagian atas antenna yang terbuat dari bahan konduktor dan berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik (Fransco, 2015). Substrat dielektrik merupakan lapisan yang terdapat antara *patch* dan *ground*. Banyak jenis material yang dapat digunakan sebagai substrat dengan konstanta dielektrik yang berbeda-beda. Tingginya nilai konstanta dielektrik dapat mengurangi ukuran dari antenna mikrostrip (Hanafiah, 2012). *Ground* merupakan bagian lapisan bawah antenna yang berfungsi sebagai bidang pemantulan sempurna dengan mengembalikan energi kembali melalui substrat udara bebas (Balanis, 2005). Teknik dalam pencatutan pada mikrostrip antenna diantaranya pencatutan koaksial, pencatu mikrostrip, *proximity feeding* dan pencatu celah/lobang. Penentuan teknik *feeding* atau pencatu daya yang akan mengolah impedensi masukan, karakteristik dan ukuran dari antenna dipengaruhi oleh teknik *feeding* (Yohandri, 2011).

Patch antenna mikrostrip memiliki bentuk yang beragam. Bentuk *patch* yang sederhana dan sering digunakan yaitu persegi, persegi panjang, segitiga, lingkaran, ellips, dan ring seperti Gambar 4.



Gambar 4. Bentuk *patch* (Garg, 2001)

Setiap radiator *patch* menjelaskan karakteristik dari *patch*. Bentuk *patch* persegi dan *patch* melingkar merupakan bentuk yang sering digunakan karena mudah dianalisis dan fabrikasi. Selain itu, antena ini merupakan antena sederhana dan mudah dalam pembuatannya dengan menggunakan teknologi modern pencetak circuit.

Antena mikrostrip memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan antena mikrostrip yaitu bentuknya yang *low-profile*, ringan, mudah difabrikasi, biaya produksi yang murah dan mudah diintegrasikan dengan rangkaian elektronika (Alaydrus, 2011). Namun, antena mikrostrip juga memiliki kekurangan karena efesiensi yang rendah, *bandwidth* yang sempit dan kemurnian pola radiasi yang rendah (Alam, 2018).

E. Parameter Antena

Gambaran kinerja suatu antena didefinisikan sebagai parameter antena. Parameter antena menghasilkan karakteristik antena yang merupakan sifat yang mendasari dalam mengetahui kemampuan kerja antena. Antena didesain dengan beberapa karakteristik yang meliputi :

1. Dimensi *Patch* Persegi Panjang

Patch persegi panjang merupakan bentuk yang paling umum digunakan dan mudah dalam menganalisisnya. *Patch* berbentuk persegi panjang memiliki panjang (L) dan lebar (W) persegi. Cara perhitungan yang bisa digunakan untuk merancang dimensi antena persegi panjang dapat menggunakan Persamaan (4).

$$W = \frac{c}{2 f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (4)$$

Untuk menentukan lebar *patch* dapat menggunakan Persamaan (4). Dimana c merupakan kecepatan cahaya di ruang bebas dengan nilai 3×10^8 , f_0 adalah frekuensi kerja antena, ϵ_r konstanta dielektrik dari bahan substrat. Sedangkan untuk menentukan panjang *patch* menggunakan Persamaan (5).

$$\Delta L = 0,42 h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{h}{W} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{h}{W} + 0.8 \right)} \quad (5)$$

Pada Persamaan (5) h merupakan tinggi substrat, sedangkan ϵ_{reff} merupakan konstanta dielektrik relatif yang dapat dirumuskan seperti Persamaan (6).

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W}}} \right) \quad (6)$$

Sehingga panjang *patch* dapat dirumuskan seperti Persamaan (7).

$$L = L_{eff} - 2 \Delta L \quad (7)$$

Dimana L_{eff} merupakan panjang *patch* efektif yang dapat ditentukan seperti Persamaan (8).

$$L_{eff} = \frac{c}{2 f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (8)$$

(Yohandri, 2011)

2. Pola Radiasi

Penggambaran pancaran energi antena sebagai fungsi kondisi ruang didefinisikan sebagai pola radiasi. Pola radiasi dapat disebut *field pattern* jika yang digambarkan kuat medan dan disebut *power pattern* apabila digambarkan pointing vektor (Topalaguna dkk, 2012). Pola radiasi dibentuk dari pancaran medan jauh pada antena. Pancaran energi yang dimaksud adalah intensitas medan

listrik. Berdasarkan pancaran radiasinya, tipe antenna di kelompokkan menjadi 2 yaitu :

- 1) *Directional antenna* (antena terarah) merupakan antenna yang mampu memancarkan atau menerima gelombang elektromagnetik pada arah tertentu saja. Keuntungannya adalah penguatannya lebih besar.
- 2) *Omnidirectional antenna* (antena tidak terarah) merupakan antenna yang mampu memancarkan atau menerima gelombang elektromagnetik ke segala arah (Nugraha, 2011).

3. *Gain*

Gain merupakan rasio intensitas pada arah tertentu dengan intensitas radiasi yang diperoleh jika daya yang diterima teradiasi secara isotropik (Hossain, 2015). *Gain* juga didefinisikan sebagai besaran nilai yang menunjukkan penambahan tingkat sinyal dan sinyal masukan menjadi sinyal keluaran. *Gain* bergantung pada keterarahan dan efisiensi. Semakin tinggi keterarahan maka semakin besar pula penguatannya. Besarnya penguatan dapat dihitung menggunakan Persamaan (9) (Balanis, 2005).

$$G = 10 \cdot \log \frac{4\pi U_m}{P_{in}} \text{ (dB)} \quad (9)$$

Berdasarkan Persamaan (9), G merupakan gain antenna, U_m adalah intensitas radiasi antenna (watt) dan P_{in} adalah daya input total yang diterima oleh antenna (watt).

4. *Bandwidth*

Daerah rentang frekuensi antenna agar dapat bekerja secara efektif disebut *bandwidth* antenna. Semakin besar *bandwidth* maka penerapannya akan semakin banyak (Sentosa, 2018). Daerah rentang frekuensi antenna dapat ditingkatkan dengan memasukkan unsur *patch* tambahan dan substrat frekuensi resonansi yang sedikit lebih rendah. *Bandwidth* dapat dihitung dengan Persamaan (10), (11), dan (12).

$$B_p = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% \quad (10)$$

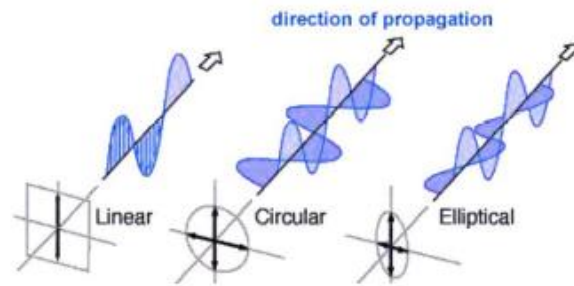
$$f_c = \frac{f_u + f_l}{2} \quad (11)$$

$$B_r = \frac{f_u}{f_l} \quad (12)$$

Dimana B_p merupakan *bandwidth* dalam persen, B_r *bandwidth* dalam rasio, f_u jangkauan frekuensi atas dan f_l merupakan jangkauan frekuensi bawah.

5. *Polarisasi*

Polarisasi didefinisikan sebagai arah rambat dari medan listrik atau penyebaran medan listrik antenna. Polarisasi merupakan hasil polarisasi gelombang yang ditransmisikan antenna. Polarisasi pada arah gain maksimum jika arahnya tidak ditentukan, tetapi polarisasi dari energi yang teradiasi bervariasi dengan arah dari tengah antenna, sehingga bagian lain dari pola radiasi mempunyai polarisasi yang berbeda. Mengenali polarisasi bermanfaat untuk mendapatkan efisiensi pada transmisi sinyal (Yohandri, 2011). Polarisasi dibedakan menjadi polarisasi *linear*, *circular* dan *elliptical*. Gambar 5 menunjukkan arah rambat dari polarisasi *linear*, *circular* dan *elliptical*.



Gambar 5. Bentuk polarisasi (Hossain, 2015)

Polarisasi *linear* terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik di ruang memiliki vektor medan elektrik pada titik selalu berorientasi pada garis lurus yang sama setiap waktu. Polarisasi melingkar terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik yang memiliki vektor medan (magnet dan elektrik) saat titik tersebut berada pada jalur lingkaran sebagai fungsi waktu. Sedangkan polarisasi ellips terjadi ketika gelombang berubah menurut waktu memiliki vector medan berada pada jalur kedudukan ellips pada ruang (Sihombing, 2014).

6. Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

VSWR merupakan rasio amplitude gelombang berdiri maksimum (V_{maks}) dengan amplitude gelombang berdiri minimum (V_{min}). Dua komponen gelombang tegangan pada saluran transmisi yaitu tegangan yang dikirim (V_0^+) dengan tegangan yang direfleksikan (V_0^-). Rasio tegangan yang dikirimkan dengan tegangan yang direfleksikan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ) seperti Persamaan (13).

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{ZL - Z0}{ZL + Z0} \quad (13)$$

Dimana Z_L impedensi beban, Z_0 impedensi saluran. Sedangkan untuk nilai VSWR dapat ditentukan menggunakan Persamaan (14).

$$VSWR = \frac{V_{maks}}{V_{min}} = \frac{1 + [r]}{1 - [r]} \quad (14)$$

Kondisi yang paling baik adalah ketika nilai VSWR bernilai 1 yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan matching. Namun, pada praktiknya hal tersebut sulit dicapai. Sehingga pada umumnya, nilai VSWR masih dianggap baik dengan nilai $VSWR \leq 2$ (Fransco, 2015).

7. Return Loss (S-parameter)

Return loss menggambarkan hubungan input-output antara port dalam sistem kelistrikan. S_{11} pada radiator menunjukkan nilai logaritma dari rasio tegangan yang datang dengan pantulan. Satuan yang digunakan dB. Semakin kecil S_{11} maka semakin kecil juga daya yang dipantulkan kembali ke antena. Secara sistematis ditunjukkan oleh Persamaan (15).

$$S_{11}(dB) = 10 \log \left(\frac{V^-}{V^+} \right) \quad (15)$$

Dimana V^- merupakan gelombang pantul (*reflected voltage*) dan V^+ merupakan tegangan gelombang datang (*incident voltage*). Agar antena dapat beroperasi dengan baik, maka nilai S_{11} harus dibawah -10dB (Hossain, 2015).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Dimensi antenna mikrostrip mempengaruhi nilai karakteristik antenna *return loss*, VSWR, impedensi masukan, gain dan *axial ratio*. Dimensi yang dirancang pada antenna dengan *H-slot* bekerja pada rentang frekuensi 9 GHz hingga 9,8 GHz menghasilkan *bandwith* 376 MHz pada rentang frekuensi 9,2090 GHz hingga 9,5850 GHz. Pada frekuensi tengah 9,4 GHz nilai karakteristik antenna *return loss*, VSWR, impedensi masukan, dan gain secara berurutan adalah -42,7141 dB, 1,0147, 50,8330 Ohm dan 6,2858 dBi. Antena dengan *H-slot* menghasilkan polarisasi *linear*.
2. Antena mikrostrip difabrikasi menggunakan bahan NPCH-220A. Antena hasil fabrikasi diukur menggunakan VNA. Hasil pengukuran antenna menunjukkan antenna beroperasi pada frekuensi 9,2420 GHz hingga 9,5660 GHz. Nilai *return loss*, VSWR dan impedensi masukan pada frekuensi 9,4 GHz berurutan yaitu -29,97 dB, 1,2977 dan 51,9012 Ohm. Berdasarkan karakteristik antenna simulasi dan antenna fabrikasi, karakteristik antenna mikrostrip dengan *H-slot* dapat memenuhi kriteria radar hujan Santanu. Sehingga karekteristik dapat digunakan sebagai acuan untuk aplikasi radar hujan.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, maka disarankan untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Dari penelitian yang dilakukan, membutuhkan waktu yang lama untuk proses simulasi. Disarankan menambahkan slot dengan bentuk yang tidak terlalu banyak lekukan.
2. Dari hasil penelitian didapatkan *bandwidth* yang masih sempit. Disarankan untuk mendesain antena dengan nilai *bandwidth* yang lebih lebar.
3. Pengukuran yang dilakukan hanya pada nilai *return loss*, VSWR dan impedansi masukan. Disarankan untuk melakukan pengukuran terhadap nilai *axial ratio*, pola radiasi dan gain.
4. Nilai pengukuran impedansi antena mikrostrip, sangat berbeda dengan hasil simulasi. Disarankan melakukan pengukuran berulang untuk setiap karakteristik antena untuk memperoleh keketian yang baik.
5. Dari hasil penelitian *gain* antena belum tercapai dikarenakan kekeliruan peneliti. Disarankan agar lebih teliti dalam menentukan karakteristik antena.

DAFTAR PUSTAKA

- ALAM, S., SURJATI, I., SARI, L., & TANUWIJAYA, J. (2021). Antena Mikrostrip Array 8x2 Elemen untuk Aplikasi Radio Gelombang Mikro. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 9(2), 293. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v9i2.293>
- Alaydrus, M. (2011). Antena Prinsip dan Aplikasi. *Antena Prinsip Dan Aplikasi*, 320.
- ATHER, S., & SINGHAL, P. (2013). Truncated Rectangular Microstrip Antenna with H and U Slot for Broadband. *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, 5(01), 3–7. [https://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/electronic_engineering/Truncated Rectangular.pdf](https://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/electronic_engineering/Truncated_Rectangular.pdf)
- Dwian Prakoso, Angga. (2012). Perancangan dan Realisasi Susunan 8 Patch Antena Mikrostrip Rektangular pada Frekuensi 2,9-3,1 GHz untuk Radar Pengawas Pantai. *Proyek Akhir Institut Teknologi Telkom Bandung*.
- Egi Agara Wisnu. (2017). *Antena Mikrostrip Patch Rectangular Susunan Linier X band Untuk Radar Cuaca*. Bandung : Telkom university
- Gunawan, F., & Olivia Nur, L. (2019). PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA MIKROSTRIP PATCH BERBENTUK L ARRAY PADA FREKUENSI 9,4 GHz UNTUK APLIKASI RADAR CUACA DESIGN AND REALIZATION ARRAY L-SHAPED PATCH MICROSTRIP ANTENNA AT 9,4 GHz FREQUENCY FOR WEATHER RADAR APPLICATION. 6(2), 4555–4562.
- Handoko. (1993). *Klimatologi Dasar*. Jakarta: PT. Dunia Pustaka Jaya.
- Hermawan, E. (2009). Analisis Perilaku Curah Hujan di Atas Kototabang Saat Bulan Basah dan Bulan Kering. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, Dan Penerapan MIPA*, 415–424.
- Hossain, M. A. (2015). *Design And Analysis Of Rectangular Microstrip Patch Antennas Loaded With Plastic And Barium Titanate Substrates*. Doctoral dissertation, Bangladesh University of Engineering and Technology.
- Iskandar. (2008). *Studi Karakteristik pancaran antena mikrostrip slot array dengan pencatutan model garpu untuk memperlebar Bandwidth*. Disertasi, Fakultas teknik, Universitas Indonesia.
- Kartasapoetra, A. G. (2004). *Klimatologi Pengaruh Iklim terhadap Tanah dan Tanaman*. Jakarta: PT. Bumi Aksara.
- Kock, U. F. D. E. (2020). *Laporan Kinerja Laporan Kinerja*.

- Lakitan, B. (2002). *Dasar-dasar Klimatologi*. Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Nugraha, A. S., Christyono, Y., & Sukiswo, S. (2011). Perancangan dan Analisis Antena Mikrostrip dengan Frekuensi 850 MHz untuk Aplikasi Praktikum Antena. *Transmisi*, 13(1), 39-45.
- Prayuda, D. D. 2015. Analisis Karakteristik Intensitas Hujan Di Wilayah Lereng Gunung Merapi. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, Vol. 1 No. 1, 1-43.
- Rambe, A. H. (2012). *Antena mikrostrip: 01*(September), 86–92.
- Ruswanditya, A. S., Wijanto, H. W., & Wahyu, Y. (2018). Antena Microstrip Mimo 8x8 Array 2 Patch Rectangular H-Slot Untuk Radio Akses 5G Frekuensi 15 Ghz. *TEKTRIKA - Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Telekomunikasi, Kendali, Komputer, Elektrik, Dan Elektronika*, 2(1). <https://doi.org/10.25124/tektrika.v2i1.1655>
- Sentosa, M. (2018). *Rancang Bangun Metamaterial Menggunakan Mikrostrip untuk Penyerap Gelombang Radar*. Padang : Universitas Negeri Padang.
- Sidauruk, H. F., & Rambe, A. H. (n.d.). *Segiempat Dengan Pencatu Aperture Coupled*. 65–70.
- Sihombing, N. (2014). *Studi Perancangan Antena Mikrostrip Array Patch Segitiga dual-band untuk aplikasi WLAN dan WiMAX*. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Simarmata, J. (2009). *rekayasa perangkat lunak* (1st ed.). penerbit andi. https://books.google.co.id/books?id=QP1BjG_VIsoC&pg=PR2&lpg=PR2&dq=Rekayasa+perangkat+lunak+/+Janner+Simarmata+;+editor,+Nikodemus+WK&source=bl&ots=TA0IrUM-ov&sig=ACfU3U2JjO23GlebPnYuPrlfzwwgirD1xA&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwibm8bJ4630AhXNUGwGHX5CC_UQ6AF6BAgnE
- Skolnik, Merrill. (1990). *Radar Handbook Second Edition*. United States
- Sosrodarsono, S. (2006). *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramitha.
- Tjasyono, B. (2004). *Klimatologi*. Bandung: ITB.
- Triatmodjo, B. (2009). *Hidrologi Terapan Cetakan Kedua*. Yogyakarta: Beta Offset.

- Topalaguna, bayu zakiy ubaid. (2012). *Konstruksi Prototype Nanosatellite pada Frekuensi ISM Band 2,4 GHz untuk Aplikasi Telemetry Suhu*. universitas hasanuddin.
- Tukidi. (2007). *Meteorologi dan Klimatologi*. Semarang: Jurusan Geografi FIS UNNES
- Tukidi. (2010). Karakter Curah Hujan Di Indonesia. *Jurnal Geografi*, 7(2), 136–145. <http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JG/article/view/84>
- Vitri, T., & Marzuki. (2014). Analisis Pengaruh El Nino Southern Oscillation (ENSO) Terhadap Curah Hujan di Koto Tabang Sumatera Barat. *Jurnal Fisika Unand*, 3(4), 214–221. <http://jfu.fmipa.unand.ac.id/index.php/jfu/article/view/110>
- Yohandri, V. Wissan, I. Firmansyah, P. R. A. J. T. S. S. and H. K. †. (2011). Ray Antenna for Synthetic Aperture Radar. *Progress In Electromagnetics Research*, 19(January), 119–133.