

RANCANG BANGUN *MICROSTRIP DUAL WIDEBAND* DAN *DUAL NARROW BAND FILTERING ANTENNA* UNTUK KOMUNIKASI NIRKABEL

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T)



Disusun oleh:

Nama : Fajar Dwi Fitran

NIM : 3332200015

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2024**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Rancang Bangun Dual Wideband dan Dual Narrowband
Filtering Antenna untuk Komunikasi Nirkabel

Nama Mahasiswa : Fajar Dwi Fitran

NPM : 3332200015

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 24 November 2024



Fajar Dwi Fitran

3332200015

LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini ditetapkan bahwa skripsi berikut:

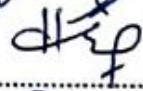
Judul : Rancang Bangun *Microstrip Dual Wideband* dan *Dual Narrowband Filtering Antenna* untuk Komunikasi Nirkabel
Nama Mahasiswa : Fajar Dwi Fitran
NPM : 3332200015
Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Elektro

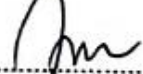
Telah diuji dan dipertahankan pada tanggal 26 November 2024 melalui Sidang Skripsi di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan LULUS / TIDAK LULUS.

Dewan Penguji

Pembimbing I : Dr. Eng. Teguh Firmansyah, S.T., M.T.
Pembimbing II : Dina Estining Tyas Lufianawati, S.T., M.T.
Penguji I : Dr. Irma Saraswati, S.Si., M.T.
Penguji II : Rian Fahrizal, S.T., M.Eng.

Tanda Tangan


.....

.....

.....

.....

Mengetahui,

Ketua Jurusan


Dr. Eng. Rochy Afanz, S.T., M.Sc.

NID. 198407282010121001

PRAKATA

Segala puji hanya milik Allah Subhanahu Wata'ala, Tuhan semesta alam yang telah memberikan nikmat dan karuniannya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan judul **Rancang Bangun *Microstrip Dual Wideband Dan Dual Narrowband* Untuk Komunikasi Nirkabel**. Penelitian ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik (S.T.) pada tingkat Strata 1 (S1) di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Penulisan laporan penelitian ini tidak dapat terwujud tanpa adanya bantuan dari pihak lain. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan, penulisan laporan, dan penyelesaian penelitian ini, yaitu:

1. Bapak Dr. Eng. Rocky Alfanz, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan segala dukungan dan do'a selama menjalani dunia perkuliahan ini.
3. Bapak Fadil Muhammad S.T, M.T., selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing dalam setiap proses kegiatan akademik.
4. Bapak Dr. Eng. Teguh Firmansyah, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menjalani dan membimbing selama penelitian dilakukan.
5. Ibu Dina Estining Tyas S.T., M.T., selaku dosen pembimbing 2 yang telah membantu serta membimbing penulis selama penelitian dilakukan.
6. Bapak Imamul Muttakin S.T., M. Eng., yang telah membantu dan memberikan fasilitas selama penelitian dilakukan.
7. Sahabat dan teman-teman seperjuangan angkatan 2020 yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan penelitian ini.

Penulis berharap hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca, khususnya bagi penulis sendiri.

Penulis sangat menyadari bahwa hasil dari penelitian ini masih memiliki kekurangan, namun penulis berharap hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca, khususnya bagi penulis sendiri. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran untuk kemajuan dan perkembangan dari hasil penelitian ini.

Cilegon, 24 November 2024



Fajar Dwi Fitran

Penulis

ABSTRAK

Fajar Dwi Fitran

Teknik Elektro

Rancang Bangun Dual Wideband dan Dual Narrowband Filtering Antenna untuk Komunikasi Nirkabel

Perkembangan komunikasi nirkabel yang pesat dalam teknik elektronik, integrasi dan multi fungsi, sistem komunikasi menjadi miniatur. Di ujung depan *Radio Frequency* (RF), terdapat *filter* dan antena yang keduanya memiliki ukuran besar dibandingkan dengan komponen lainnya. Namun antena kebanyakan masih bekerja *single band*, *bandwidth* yang sempit, dan belum memiliki kinerja sebagai filter. Maka dari itu, pada penelitian ini dirancang *microstrip dual wideband* dan *dual narrowband antenna* yang bekerja secara simultan pada frekuensi 2.1 Ghz, 2.6 GHz, 4.6 GHz dan 5.6 GHz, dengan nilai koefisien refleksi berturut-turut sebesar -36.61 dB, -28.6 dB, -24.83 dB, dan -24.1 dB dengan *bandwidth* 240 MHz pada frekuensi 2.1 GHz dan 450 MHz pada fekuensi 4.6 GHz yang efisiensi untuk komunikasi nirkabel di berbagai lingkungan aplikasi. Hasil pengukuran perangkat antena yang telah dirancang ini sudah baik dan dapat diaplikasikan.

Kata Kunci: Antena, Koefisien Refleksi, *Gain*, *Voltage Standing Wave Ratio*.

ABSTRACT

Fajar Dwi Fitran
Electrical Engineering

Design and Development of Dual Wideband dan Dual Narrowband Filtering Antenna for Wireless Communication

With the rapid development of wireless communications in electronic engineering, integration and multi-functionality, communication systems are being miniaturized. At the Radio Frequency (RF) front end, there are filters and antennas, both of which have a large size compared to other components. However, most antennas still work in a single band, narrow bandwidth, and do not have performance as a filter. Therefore, in this research, a microstrip dual wideband and dual narrowband antenna is designed that works simultaneously at frequencies of 2.1 GHz, 2.6 GHz, 4.6 GHz and 5.6 GHz, with a reflection coefficient value of -36.61 dB, -28.6 dB, -24.83 dB, and -24.1 dB respectively with a bandwidth of 240 MHz at 2.1 GHz and 450 MHz at 4.6 GHz which is efficient for wireless communication in various application environments. The measurement results of this designed antenna device are good and can be applied.

Keywords: Antenna, Reflection Coefficient, Gain, Voltage Standing Wave Ratio.

DAFTAR ISI

HALAMAN UTAMA.....	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PRAKATA.....	iv
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian Antena Mikrostrip	5
2.1.1 Elemen Peradiasi (<i>patch</i>)	6
2.1.2 Substrat Dielektrik	6
2.2 <i>Filtering Antenna</i> dalam Komunikasi Nirkabel	7
2.3 <i>Bandwidth</i>	8
2.4 <i>S-Parameter</i>	8
2.5 Koefisien refleksi	9

2.6	<i>Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)</i>	9
2.7	<i>Gain</i>	9
2.8	CST Studio Suite	10
2.9	Kajian Pustaka	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		14
3.1	Metode Penelitian	14
3.2	Studi Literatur	15
3.3	Menentukan Spesifikasi	15
3.4	Merancang Antena <i>Single Wideband</i> pada Frekuensi Bawah	16
3.5	Merancang Antena <i>Single Wideband</i> pada frekuensi atas	20
3.6	Merancang Antena <i>Dual Wideband</i>	23
3.7	Merancang Antena <i>Dual Wideband</i> dan <i>Single Narrowband</i>	27
3.8	Merancang Antena <i>Dual Wideband</i> dan <i>Dual Narrowband</i>	33
3.9	Fabrikasi Antena	39
3.10	Pengukuran menggunakan VNA	39
3.11	Analisis hasil simulasi dengan pengukuran	39
BAB IV PEMBAHASAN		40
4.1	Simulasi Desain Akhir	40
4.1.1	<i>Return Loss</i>	43
4.1.2	<i>Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)</i>	44
4.1.3	Distribusi <i>E-Field</i> pada Frekuensi 2.1 GHz	45
4.1.4	Distribusi <i>E-Field</i> pada Frekuensi 2.6 GHz	46
4.1.5	Distribusi <i>E-Field</i> pada Frekuensi 4.6 GHz	46
4.1.6	Distribusi <i>E-Field</i> pada Frekuensi 5.2 GHz	47
4.1.7	Distribusi <i>H-Field</i> pada Frekuensi 2.1 GHz	47
4.1.8	Distribusi <i>H-Field</i> pada Frekuensi 2.6 GHz	48

4.1.9	Distribusi <i>H-Field</i> pada Frekuensi 4.6 GHz	49
4.1.10	Distribusi <i>H-Field</i> pada Frekuensi 5.2 GHz	49
4.2	Realisasi <i>Microstrip Dual Wideband</i> dan <i>Dual Narrowband Filtering Antenna</i>	50
4.3	Hasil Simulasi dan Pengukuran <i>Microstrip Dual Wideband</i> dan <i>Dual Narrowband Filtering Antenna</i>	50
4.4	Pola radiasi dan <i>Gain</i> pada Frekuensi 2.1	51
4.5	Pola radiasi dan <i>Gain</i> pada Frekuensi 2.6	52
4.6	Pola radiasi dan <i>Gain</i> pada Frekuensi 4.6	53
4.7	Pola radiasi dan <i>Gain</i> pada Frekuensi 5.2	53
BAB V KESIMPULAN.....		55
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran.....	56
DAFTAR REFERENSI		57
LAMPIRAN.....		Error! Bookmark not defined.
LAMPIRAN A TABEL PERBANDINGAN PERFORMA		A-1
LAMPIRAN B ITERASI.....		B-1
A.	Desain Pertama.....	B-1
B.	Desain Kedua	B-3
C.	Desain Ketiga	B-5
D.	Desain Keempat	B-6
E.	Desain Kelima.....	B-8
LAMPIRAN C REKAPITULASI HASIL		C-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Antena mikrostrip [16]	5
Gambar 2.2 <i>Patch</i> antena mikrostrip	6
Gambar 3.1 Diagram alur penelitian	14
Gambar 3.2 Struktur desain pertama.....	16
Gambar 3.3 Hasil simulasi desain pertama	18
Gambar 3.4 <i>Gain</i> simulai desain pertama pada frekuensi 2.1 GHz.....	19
Gambar 3.5 Struktur desain kedua	20
Gambar 3.6 Hasil Simulasi desain kedua.....	21
Gambar 3.7 <i>Gain</i> simulasi desain kedua pada frekuensi 4.6 GHz.....	23
Gambar 3.8 Struktur desain ketiga.....	24
Gambar 3.9 Hasil simulasi desain ketiga	25
Gambar 3.10 <i>Gain</i> simulasi desain ketiga pada frekuensi 2.1 GHz dan 4.6 GHz	27
Gambar 3.11 Struktur desain keempat	28
Gambar 3.12 Hasil simulasi desain keempat	29
Gambar 3.13 <i>Gain</i> simulasi desain keempat pada frekuensi (a) 2.1 GHz, (b) 2.6 GHz, dan (c) 4.6 GHz	32
Gambar 3.14 Struktur desain kelima.....	33
Gambar 3.15 Hasil simulasi desain kelima	34
Gambar 3.16 <i>Gain</i> simulasi desain kelima pada frekuensi 2.1 GHz dan 2.6 GHz	37
Gambar 3.17 <i>Gain</i> simulasi desain kelima pada frekuensi 4.6 GHz dan 5.1 GHz	38
Gambar 4.1 Dimensi struktur desain akhir	40
Gambar 4.2 Hasil simulasi desain akhir.....	44
Gambar 4.3 VSWR pada frekuensi minimum	44
Gambar 4.4 VSWR pada frekuensi maksimum	45
Gambar 4.5 E-Field pada frekuensi 2.1 GHz.....	45
Gambar 4.6 E-Field pada frekuensi 2.6 GHz.....	46
Gambar 4.7 E-Field pada frekuensi 4.6 GHz.....	47
Gambar 4.8 E-Field pada frekuensi 5.2 GHz.....	47
Gambar 4. 9 H-Field pada frekuensi 2.1 GHz	48
Gambar 4.10 H-Field pada frekuensi 2.6 GHz	48

Gambar 4. 11 H-Field pada frekuensi 4.6 GHz.....	49
Gambar 4. 12 H-Field pada frekuensi 5.2 GHz	49
Gambar 4.13 Realisasi microstrip dual wideband dan dual narrowband filtering antenna	50
Gambar 4.14 Hasil simulasi dan pengukuran	51
Gambar 4.15 Pola radiasi dan <i>gain</i> pada frekuensi 2.1	52
Gambar 4.16 Pola radiasi dan <i>gain</i> pada frekuensi 2.6.....	52
Gambar 4.17 Pola radiasi dan <i>gain</i> pada frekuensi 4.6.....	53
Gambar 4.18 Pola radiasi dan <i>gain</i> pada frekuensi 5.2.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komparasi <i>Filtering Antenna</i>	13
Tabel 3.1 Substrat Duroid RT5880.....	15
Tabel 3. 2 Dimensi Struktur Desain Pertama	17
Tabel 3.3 Iterasi l_3 pada Simulasi Desain Pertama	18
Tabel 3.4 Dimensi Struktur Desain Antena Kedua	20
Tabel 3.5 Iterasi w_7 pada Simulasi Desain Kedua.....	22
Tabel 3.6 Dimensi Struktur Desain Antena Ketiga	24
Tabel 3.7 Dimensi Struktur Desain Antena Keempat	28
Tabel 3.8 Iterasi g_1 pada Simulasi Desain Keempat	29
Tabel 3. 9 Dimensi Struktur Desain Antena Kelima	34
Tabel 3.10 Iterasi l_6 pada Simulasi Desain Kelima	35
Tabel 4.1 Iterasi l_{12} pada Struktur Desain Akhir	40
Tabel 4.2 Dimensi Struktur Desain Akhir	43

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan komunikasi nirkabel yang pesat dalam teknik elektronik, integrasi dan multi fungsi, sistem komunikasi menjadi miniatur. Di ujung depan *Radio Frequency* (RF), terdapat *filter* dan antena yang keduanya memiliki ukuran besar dibandingkan dengan komponen lainnya. Maka dari itu, merupakan ide bagus untuk merancang komponen *filter* antena yang dapat memberikan performa penyaringan dan pemancaran [1], [2].

Pada referensi-referensi, terdapat beberapa upaya untuk mengintegrasikan *filter* dan antena ke dalam satu modul [3]. Pada referensi [4], menggunakan *microstrip bandpass filter* selektif tinggi dan *diplexer* dengan menggabungkan kopling elektromagnetik. Pada referensi ini juga memiliki *bandwidth* sebesar 7.2% dan *Return loss* yang tidak kurang dari 22 dB. Pada referensi [5], menggunakan desain dari struktur *multilayer microwave filtering antenna*. Pada referensi ini memiliki *bandwidth* sebesar 2.7%, *gain* sebesar 2.6 GHz, juga *return loss* sebesar 13.53 dB pada frekuensi 2.6 GHz. Pada referensi [6], menggunakan *wide stopband filtering antenna* dengan *gain* yang besar. Pada referensi ini tidak ditemukan *return loss*.

Referensi [7], menggunakan *dual-band filtering antenna* dengan *novel transmission characteristics* dengan *return loss* sebesar 10dB serta *bandwidth* sebesar 1.2% dan 2.9%, *gain* sebesar 4.8 dB dan menggunakan *single layer*. Kelemahan pada referensi ini salah satunya adalah terletak pada rentang frekuensinya yang sempit. Pada referensi [8], menggunakan metode isolasi tinggi oleh metamaterial yang dipandu gelombang struktur. Pada referensi ini memiliki *lower resonant frequency* yaitu pada 3.4 GHz dan 4.95 GHz. Kelebihan referensi ini yaitu dapat memisahkan *dual-band patch antenna*. Namun antena ini masih belum memiliki *filter*, juga *bandwidth* frekuensi nya yang masih sempit. Pada referensi [9], menggunakan metode modifikasi pada slot guna meningkatkan impedansi pada *bandwidth*, memiliki dua transmisi yaitu pada 5,4 GHz dan 7,7 GHz.

Pada referensi [10], menggunakan metode *stripline low pass filter* yang menghasilkan kinerja yang baik pada *wide stopband* yang lebih rendah dari -25dB *insertion loss* yang lebih sedikit yaitu pada -1dB, filter antenna yang berfungsi pada jangkauan 2.6 GHz (-3dB) hingga 2.9 GHz (-39dB). Kekurangan dari referensi ini yaitu sinyal yang dihasilkan masih berupa *single band* yang *bandwidth* nya sempit, serta pada 2.6 GHz hingga 10.9 GHz menunjukkan *suppression characteristic* yang tidak berguna. Pada referensi [11] menggunakan teknik *filtering* yang sederhana sehingga antenna memiliki pita penyaringan yang sempit dan sinyal pada S11 yaitu kurang dari -20dB pada frekuensi tengah yaitu 4.17 GHz.

Pada referensi [12] memiliki 4 radiasi yang dapat dikontrol dan *suppression level* yang berada diatas 29dB dan impedansi *bandwidth* yang lebar yang berkisar dari 2.93 GHz hingga 3.96 GHz. Akan tetapi, pada referensi ini antenna hanya dapat menghasilkan *single band*. Secara umum permasalahan referensi diatas diantaranya yaitu antenna masih bekerja *single band*, *bandwidth* yang sempit, dan belum memiliki kinerja sebagai filter. Maka dari itu, pada penelitian ini dirancang *microstrip dual wideband* dan *dual narrowband antenna*.

Pada penelitian ini, menggabungkan dua konsep yaitu *dual wideband antenna* dan *dual narrowband* yang dapat bekerja sekaligus sebagai *filter*, dimana antenna ini memungkinkan untuk melakukan komunikasi dari berbagai frekuensi. Adapun *filtering antenna* berfungsi untuk menghilangkan interferensi yang merugikan dimana interferensi ini merupakan interaksi antar gelombang di dalam satu daerah. Dengan menggabungkan kedua konsep ini dalam satu antenna, yaitu *microstrip dual wideband* dan *dual narrowband filtering antenna* yang dapat menghasilkan solusi yang lebih efisien serta handal untuk komunikasi nirkabel di berbagai lingkungan aplikasi [14], [15].

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini terdapat empat permasalahan utama yang diharapkan dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Bagaimana merancang *single wideband filtering antenna* pada frekuensi bawah dan frekuensi atas?

2. Bagaimana merancang *dual wideband* dan *single narrowband filtering antenna*?
3. Bagaimana merancang *dual wideband* dan *dual narrowband filtering antenna* dengan nilai koefisien refleksi < -10 dB?
4. Bagaimana mengevaluasi kinerja antena antara hasil simulasi dan hasil pengukuran?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat merancang *single wideband filtering antenna* pada frekuensi bawah dan frekuensi atas.
2. Dapat merancang *dual wideband* dan *single narrowband filtering antenna*.
3. Dapat merancang *dual wideband* dan *dual narrowband filtering antenna* dengan nilai koefisien refleksi < -10 dB.
4. Menganalisa hasil evaluasi kinerja antena antara hasil simulasi dan pengukuran.

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut ini adalah manfaat dari penelitian yang dilakukan:

1. Penelitian ini memberikan kontribusi baru dalam bidang antena mikrostrip, yaitu pengembangan antena mikrostrip dengan *dual wideband* dan *dual narrowband* yang juga dapat bekerja sebagai filter.
2. Penelitian ini dapat menjadi acuan bagi peneliti lain yang tertarik untuk mengembangkan antena mikrostrip dengan *bandwidth* yang luas.
3. Manfaat untuk pendidikan, penelitian ini memiliki potensi untuk memberikan kontribusi yang signifikan bagi perkembangan ilmu pengetahuan teknologi khususnya bidang komunikasi nirkabel.

1.5 Batasan Masalah

Berikut ini merupakan batasan masalah dari rancang bangun *dual wideband filtering antenna*:

1. Perancangan simulasi antena menggunakan *software* CST Studio Suite.

2. Antena yang dirancang memiliki 4 pita frekuensi.
3. Parameter yang diukur adalah *bandwidth*, *return loss*, *gain*, dan *voltage standing wave ratio* (VSWR).
4. Bahan substrat yang digunakan adalah Rogers RT5880 (*lossy*)

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan skripsi ini, peneliti membagi tulisan menjadi beberapa pokok permasalahan yang secara garis besar sebagai berikut:

BAB I: Pendahuluan

Berisikan mengenai latar belakang pemilihan judul tema yang diajukan, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika untuk penulisan proposal tersebut.

BAB II: Landasan Teori

Berisikan perihal penjelasan teori-teori yang mendukung dalam penyusunan penelitian ini mulai dari dasar hingga penjelasan terperinci mengenai antena mikrostrip, dan parameter umum filter

BAB III: Metodologi Penelitian

Berisikan tentang prosedur perancangan dan realisasi antena mikrostrip yang meliputi desain dan konfigurasi akhir antena.

BAB IV: Pembahasan

Berisi mengenai bahasan khusus penelitian berupa analisis data-data yang diperoleh kemudian dikaitkan dengan teori-teori yang dibahas pada bab 3.

BAB V: Penutup

Berisikan kesimpulan dan saran dari keseluruhan penulisan skripsi.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan mengenai suatu referensi-referensi pendukung dalam pengumpulan data dan pembuatan laporan.

DAFTAR REFERENSI

- [1] L. Chen, B. Ma, W. Wu, and Q. Liu, "A Novel Design of Miniature Filter-antenna with Broad Stop-band Characteristic," in *IEEE Electrical Design of Advanced Packaging and Systems Symposium (EDAPS)*, IEEE Electrical Design of Advanced Packaging and Systems Symposium (EDAPS), 2017. doi: 10.1109/EDAPS.2017.8277002.
- [2] D. Yang, H. Zhai, C. Guo, and H. Li, "A Compact Single-Layer Wideband Microstrip Antenna with Filtering Performance," *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, vol. 19, no. 5, pp. 801–805, May 2020, doi: 10.1109/LAWP.2020.2980631.
- [3] Wei-Jun Wu, Chun Wang, Rong Fan, and Jun Wang, "A Compact and Anti-interference Filter-antenna for Modern Wireless Communication Systems," 2015.
- [4] J. K. Xiao, M. Zhu, Y. Li, L. Tian, and J. G. Ma, "High Selective Microstrip Bandpass Filter and Diplexer With Mixed Electromagnetic Coupling," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 25, no. 12, pp. 781–783, Dec. 2015, doi: 10.1109/LMWC.2015.2495194.
- [5] J. Cui, S. Yan, J. Chen, J. Li, A. Zhang, and Y. Qiao, "Design of a Multilayer Structure Microwave Filtering Antenna," 2019.
- [6] J. Chen, D. Shen, and X. Zhang, "Wide Stopband Filtering Antenna with High Gain for Ka Band," in *Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings, APMC*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Dec. 2020, pp. 816–818. doi: 10.1109/APMC47863.2020.9331584.
- [7] K. Dhvaj, L. J. Jiang, and T. Itoh, "Dual-Band Filtering Antenna With Novel Transmission Zero Characteristics," *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, vol. 17, no. 12, pp. 2469–2473, Dec. 2018, doi: 10.1109/LAWP.2018.2878417.
- [8] C. Guo, H. Zhai, and S. Liu, "A New Dual-Band Microstrip Antenna Array With High Isolation by Waveguided Metamaterial Structure," *Microw Opt Technol Lett*, vol. 61, no. 5, pp. 1365–1370, May 2019, doi: 10.1002/mop.31707.
- [9] Y. I. A. Al-yasir *et al.*, "Design of a Wide-Band Microstrip Filtering Antenna With Modified Shaped Slots and Sir Structure," *Inventions*, vol. 5, no. 1, Mar. 2020, doi: 10.3390/inventions5010011.
- [10] Z. Licheng, "A Filtering Antenna Based on Stripline Low Pass Filter," *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, 2018.
- [11] X. Y. Wang, S. C. Tang, X. F. Shi, and J. X. Chen, "A Low-Profile Filtering Antenna Using Slotted Dense Dielectric Patch," *IEEE Antennas Wirel*

- Propag Lett*, vol. 18, no. 3, pp. 502–506, Mar. 2019, doi: 10.1109/LAWP.2019.2895320.
- [12] Q. Wu, Y. Shi, and L. Li, “Wideband Dual-Polarized Differential-Fed Filtering Microstrip Patch Antenna with High Suppression and Wide Stopband,” *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, vol. 2023, pp. 1–10, Apr. 2023, doi: 10.1155/2023/6682038.
 - [13] K. Xu and J. Shi, “A Compact Filtering Antenna Using Dielectric Strip Resonator and Parallel Microstrip Feed Line,” *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, vol. 30, no. 9, Sep. 2020, doi: 10.1002/mmce.22334.
 - [14] H. R. Das, R. Dey, and S. Bhattacharya, “A Review Paper on Design for Microstrip Patch Antenna,” Zibeline International Publishing, Mar. 2021, pp. 166–168. doi: 10.26480/etit.02.2020.166.168.
 - [15] W. A. Awan, A. Zaidi, M. Hussain, N. Hussain, and I. Syed, “The Design of a Wideband Antenna With Notching Characteristics for Small Devices Using a Genetic Algorithm,” *Mathematics*, vol. 9, no. 17, Sep. 2021, doi: 10.3390/math9172113.
 - [16] L. Ruhjana, “Antena Mikrostrip untuk Aplikasi Wlan,” vol. 2, no. 2, pp. 2746–1209, May 2021.
 - [17] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design (4th ed.)*. 2016.
 - [18] S. Hadi Saputra, A. Endang Jayati, dan Erlinasari, and J. Teknik Elektro, “Rancang Bangun Antena Patch Circular Dengan Teknik Linier Array untuk Frekuensi WiFi 2,4 GHz,” *eLEKTRIKAL*, vol. 11, no. 1, pp. 9–14, 2019.
 - [19] S. Romadhona, D. Alia, and M. Zulfida, “Perancangan dan Analisis Antena Dipole Pada Frekuensi 2,4 GHz Untuk Modul Xbee S2 Pro Menggunakan HFFS 14.0,” *AVITEC*, vol. 2, no. 1, Jan. 2020, doi: 10.28989/avitec.v2i1.535.
 - [20] L. Hepi, Elisma, P. Wasit, and Nurfiana, “Analisa Karakteristik Antena Mikrostrip Lingkaran Berbahan Substrat Material Dielektrik Artifisial pada Frekuensi 1800 MHz,” pp. 276–283, Dec. 2018.
 - [21] Y. I. A. Al-Yasir *et al.*, “A new and compact wide-band microstrip filter-antenna design for 2.4 ghz ISM band and 4G applications,” *Electronics (Switzerland)*, vol. 9, no. 7, pp. 1–13, Jul. 2020, doi: 10.3390/electronics9071084.
 - [22] C. X. Mao, Y. Zhang, X. Y. Zhang, P. Xiao, Y. Wang, and S. Gao, “Filtering Antennas: Design Methods and Recent Developments,” *IEEE Microw Mag*, vol. 22, no. 11, pp. 52–63, Nov. 2021, doi: 10.1109/MMM.2021.3102199.

- [23] X. Liu, Y. Wu, Z. Zhuang, W. Wang, and Y. Liu, "A Dual-Band Patch Antenna for Pattern Diversity Application," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 51986–51993, Sep. 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2870142.
- [24] S. Mondal, D. Kumar, and P. Chahal, "Recent Advances and Applications of Passive Harmonic RFID Systems: A Review," *Micromachines*, vol. 12, no. 4. MDPI AG, Apr. 01, 2021. doi: 10.3390/mi12040420.
- [25] G. B. Wiryawan, K. Fayakun, H. Ramza, M. A. Zakariya, E. Roza, and D. A. Cahyasiwi, "Antena-Filter Hairpin dengan Peningkatan Perolehan untuk Aplikasi 5G," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 18, no. 4, Dec. 2022, doi: 10.17529/jre.v18i4.27754.
- [26] G. Srivastava, L. H. Son, R. Kumar, and M. Khari, "A Dual Band Notched Ultra-Wideband Antenna," *Wirel Pers Commun*, vol. 110, no. 2, pp. 1021–1032, Jan. 2020, doi: 10.1007/s11277-019-06771-7.
- [27] S. Roy and U. Chakraborty, "Metamaterial Based Dual Wideband Wearable Antenna for Wireless Applications," *Wirel Pers Commun*, vol. 106, no. 3, pp. 1117–1133, Jun. 2019, doi: 10.1007/s11277-019-06206-3.
- [28] Z. Deng, C. Lai, Y. Wang, and K. Deng, "Design of a Quadruple Band-Notched Ultra-Wideband (UWB) Antenna Using Curled C-Shaped Structures and Interdigital Inductance Slots," *Electronics (Switzerland)*, vol. 11, no. 23, Dec. 2022, doi: 10.3390/electronics11233949.
- [29] M. A. Fadhlurrohman and D. Kristyawati, "Perancangan dan Analisa Antena Mikrostrip Patch 3.5 GHz Menggunakan Software CST Studio Suite 2022 untuk Teknologi 5G," *JUIT*, vol. 2, no. 2.