

PENGARUH *BENDING* PADA ANTENNA MIKROSTRIP FLEKSIBEL UNTUK APLIKASI IOT

Farrah Vauzia^{1*}, Nurista Wahyu Kirana²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bandung; Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat; 022 – 2013789

Received: 11 Juli 2024
Accepted: 31 Juli 2024
Published: 7 Agustus 2024

Keywords:
Microstrip; Patch Antenna;
Flexible Antenna; IoT;
Return Loss

Correspondent Email:
farrah.vauzia@polban.ac.id

Abstrak. Penggunaan antena fleksibel pada aplikasi *Internet of Things* (IoT) semakin diminati untuk mengatasi keterbatasan antena mikrostrip konvensional yang berbahan kaku. Tujuan penelitian ini adalah untuk merealisasikan antena fleksibel yang bekerja pada frekuensi IoT 2.4 GHz dan menganalisis pengaruh *bending* pada antena tersebut. Pemilihan material antena mikrostrip harus mempertimbangkan karakteristik elektrik dan mekanis. Material FR9111 dipilih karena memiliki permitivitas relatif yang hampir sama dengan material fleksibel lainnya namun lebih kuat secara mekanis. Sebelum disimulasikan, dimensi *patch* antena dan *feedline* terlebih dahulu dihitung secara matematis. Berdasarkan hasil simulasi, antena memiliki dua frekuensi kerja yaitu 0.885 MHz dengan *return loss* -16.81 dB dan 2.4 GHz *return loss* -14 dB. Antena mikrostrip kemudian difabrikasi dan diukur dengan kondisi awal 0° atau datar. Selanjutnya antena ditekuk (*bending*) dengan sudut 30°, 60°, dan 90° untuk diukur kembali. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa antena mikrostrip memiliki dua frekuensi kerja yang berbeda tergantung sudut *bending*. *Bending* pada antena juga berpengaruh terhadap *return loss* dan *bandwidth*.

Abstract. The use of flexible antennas in Internet of Things (IoT) applications is increasingly in demand to overcome the limitations of conventional microstrip antennas made from rigid materials. This research aims to realize a flexible antenna that works at the 2.4 GHz IoT frequency and analyze the bending effect on the antenna. The choice of microstrip antenna material must consider electrical and mechanical characteristics. The FR9111 material was chosen because it has a relative permittivity almost the same as other flexible materials but is stronger mechanically. Before being simulated, the dimensions of the antenna patch and feedline are first calculated mathematically. Based on the simulation results, the antenna has two working frequencies, 0.885 MHz with a return loss of -16.81 dB and 2.4 GHz with a return loss of -14 dB. The microstrip antenna is then fabricated and measured with an initial condition of 0° or flat. Next, the antenna is bent at angles of 30°, 60°, and 90° to be measured again. The measurement results show that the microstrip antenna has two different working frequencies depending on the bending angle. The bending of the antenna also affects return loss and bandwidth.

1. PENDAHULUAN

Internet of Things (IoT) merupakan teknologi telekomunikasi yang memungkinkan pengguna dan perangkat terintegrasi melalui internet [1]. Saat ini teknologi IoT berkembang sangat pesat dan digunakan untuk berbagai aplikasi seperti pengontrol lampu [2], sistem pengamanan [3][4], dan monitoring cuaca [5].

Salah satu bagian utama dalam proses telekomunikasi antara pengguna dan perangkat yaitu antenna yang berfungsi mengirim dan menerima sinyal informasi. Jenis antenna yang banyak digunakan pada frekuensi IoT yaitu antenna mikrostrip [6]. Antena mikrostrip konvensional seperti FR4 berbahan kaku sehingga hanya bekerja pada permukaan yang datar [7]. Antena fleksibel banyak diminati untuk mengatasi keterbatasan antenna mikrostrip konvensional [8] serta cocok digunakan untuk aplikasi IoT karena karakteristiknya yang kecil, ringan, mudah dibuat, dan dapat menyesuaikan dengan tempat dimana antenna tersebut diletakkan [9][10].

Beberapa penelitian terkait antenna fleksibel diantaranya [11] yang menggunakan material Ultralam 3850 yang bekerja pada frekuensi 2.1 GHz dengan gain 6 dB dan [12] yang menggunakan substrat transparan dengan material polikarbonat yang bekerja pada frekuensi 2.4 GHz.

Performa antenna sangat bergantung pada jenis material substrat yang digunakan [13]. Perubahan konstruksi mekanis seperti pembungkutan atau *bending* dapat memengaruhi performa antenna [14][15].

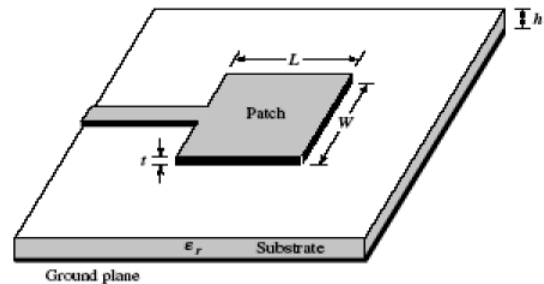
Tujuan penelitian ini adalah untuk merealisasikan antenna fleksibel yang bekerja pada frekuensi IoT 2.4 GHz dan menganalisis pengaruh *bending* pada antenna tersebut. Adapun jenis substrat yang digunakan adalah FR9111.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip terdiri atas patch (potongan kecil) berbahan logam yang ditempatkan diatas bahan substrat. Jenis mikrostrip bermacam-macam tergantung jumlah lapisannya. Salah satunya adalah mikrostrip *double layer* yang memiliki dua lapisan konduktor yang menempel pada substrat seperti ditunjukkan pada gambar 1.

Lapisan konduktor bagian atas digunakan sebagai jalur antenna sedangkan lapisan konduktor bagian bawah digunakan sebagai *groundplane*.



Gambar 1. Antena mikrostrip *double layer*

Frekuensi kerja antenna sangat ditentukan oleh dimensi antenna. Pada antenna patch seperti gambar 1, terdapat beberapa parameter fisik yaitu Panjang patch (L), lebar patch (W), ketebalan konduktor (t), ketebalan substrat (h), dan permitivitas relatif substrat. L ditentukan seperti pada persamaan (1) dimana panjangnya harus mendekati setengah panjang gelombang efektifnya.

$$L = \left[\frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} \right] - 2\Delta L \quad (1)$$

dimana

L = Panjang elemen (mm)

c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

f_r = frekuensi resonansi (Hz)

ϵ_{eff} = konstanta dielektrik efektif

Konstanta dielektrik efektif dapat dihitung dengan persamaan (2) sebagai berikut:

$$\epsilon_{eff} = \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right) + \left(\frac{\epsilon_r - 1}{2} \right) \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

dimana

h = ketebalan substrat (mm)

W = Lebar elemen (mm)

ϵ_r = permitivitas relatif

Sedangkan untuk dimensi lebar antenna (W) digunakan persamaan (3)

$$W = \left(\frac{c}{2f_r} \right) \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-0.5} \quad (3)$$

dimana

c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

f_r = frekuensi resonansi (Hz)
 ϵ_r = permitivitas relatif

Selain dimensi antena, hal lain yang perlu dipertimbangkan dalam merancang antena adalah pencatutan. Teknik pencatutan yang sering digunakan yaitu teknik pencatutan feedline yang langsung terhubung ke patch. Panjang feedline dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} \right) + 0.8} \quad (4)$$

dimana

ΔL = penambahan line patch (mm)
 h = ketebalan substrat (mm)
 W = Lebar elemen (mm)
 ϵ_{eff} = konstanta dielektrik efektif

2.2. Parameter Antena Mikrostrip

2.2.1. Return Loss

Return loss (RL) adalah parameter yang menunjukkan berapa banyak daya yang hilang pada beban dan tidak kembali sebagai pantulan akibat impedansi antena dan saluran transmisi yang tidak *match*. Besarnya *return loss* dapat dihitung dengan persamaan:

$$RL = 20 \log \Gamma \quad (5)$$

dengan

$$\Gamma = \frac{V^-}{V^+} \quad (6)$$

dimana

Γ = koefisien pantulan
 V^- = tegangan pantulan
 V^+ = tegangan maju (*forward voltage*)

Oleh karena itu, agar *matching* sempurna antara transmitter dan antena, maka nilai $\Gamma = 0$ dan $RL = \infty$, yang berarti tidak ada daya yang dipantulkan, sebaliknya jika $\Gamma = 1$ dan $RL = 0$ dB maka semua daya dipantulkan. Suatu antena memiliki performa yang baik apabila mempunyai nilai *return loss* dibawah -10 dB,

yaitu 90 % sinyal dapat diserap oleh beban, dan hanya 10 % sinyal yang terpantulkan kembali.

2.2.2. Bandwidth

Bandwidth antena adalah rentang frekuensi antena dengan beberapa karakteristik, sesuai dengan standar yang telah ditentukan. *Bandwidth* dinyatakan sebagai selisih frekuensi operasi atas (*upper*) dengan frekuensi bawah (*lower*) pada kondisi RL dibawah -10 dB.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Pemilihan Material

Agar antena memiliki performa yang baik saat ditekuk, material yang dipilih tidak hanya fleksibel namun juga cukup kuat secara mekanis. Tabel 1 menampilkan perbandingan karakteristik substrat fleksibel.

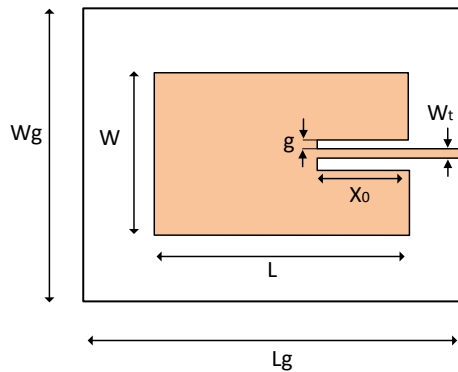
Tabel 1. Perbandingan karakteristik substrat fleksibel

Karakteristik	FR9111	Ultralam	Polikarbonat
Ketebalan konduktor (μm)	35	18	25
Ketebalan substrat (μm)	25	50	50
ϵ_r	3	2.9	2.9
$\tan \delta$	0.02	0.0025	0.01
Kekuatan Tarik (MPa)	345	200	66

Berdasarkan karakteristik pada tabel 1, material FR9111 dipilih karena memiliki kekuatan tarik paling tinggi dan konstanta dielektrik yang tidak jauh berbeda dibandingkan Ultralam dan Polikarbonat.

3.2. Perancangan Antena

Perancangan antena mikrostrip dilakukan dengan menghitung terlebih dahulu Panjang dan lebar patch seperti pada persamaan 1 dan 3. Antena memiliki *feedline* untuk pencatutan secara langsung. Teknik pencatutan ini juga mempertimbangkan penyesuaian impedansi dengan impedansi input sebesar 50 Ω .



Gambar 2. Rancangan Antena

Spesifikasi dimensi antena dapat dilihat pada tabel 2.

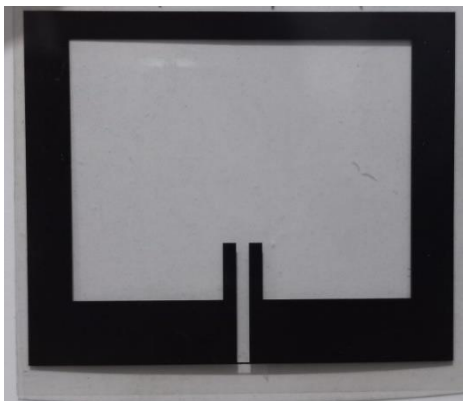
Tabel 2. Dimensi antena

Parameter	Ukuran (mm)
W	44.16
L	36.05
g	0.96
X_0	11.4
W_t	0.11
W_g	80.2
L_g	72.1

3.3. Fabrikasi Antena

Setelah merancang antena dan menguji parameter antena dengan simulasi, langkah selanjutnya adalah proses pembuatan atau fabrikasi mikrostrip menggunakan metode *Negative Photoresist Laminate*. Langkah-langkah fabrikasi antena mikrostrip adalah sebagai berikut:

1. *Layout* antena dicetak pada plastik film transparan dengan laser printer seperti pada gambar 3.

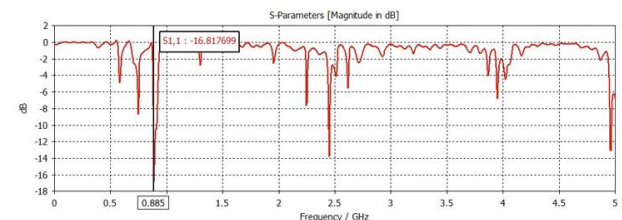


Gambar 3. Film PCB

2. Plastik film diletakkan di atas bahan FR9111 yang sudah disiapkan sesuai ukuran yang dirancang
3. Bahan FR9111 diletakkan di bawah sinar ultraviolet (UV) kurang lebih selama 2 menit. Pada proses ini area yang transparan akan menjadi area tembaga dan yang gelap akan hilang.
4. Proses pendinginan (*annealing*) dilakukan selama kurang lebih 10 menit, selanjutnya FR9111 dibersihkan dalam wadah yang berisi cairan *Natrium Hidroksida (NaOH)* dan kemudian dibersihkan lagi dengan air sampai FR9111 benar-benar bersih.

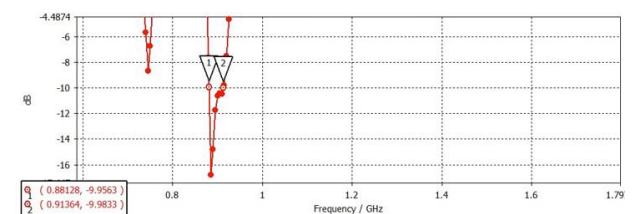
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi yang ditampilkan pada gambar 4 menunjukkan antena memiliki dua frekuensi kerja yaitu 885 MHz dan 2.4 GHz. Hal ini ditunjukkan dengan *return loss* yang berada dibawah -10 dB pada kedua frekuensi tersebut. Pada frekuensi 0.885 MHz, *return loss* yang dihasilkan adalah -16.81 dB dan pada frekuensi 2.4 GHz *return loss* yang dihasilkan adalah -14 dB.



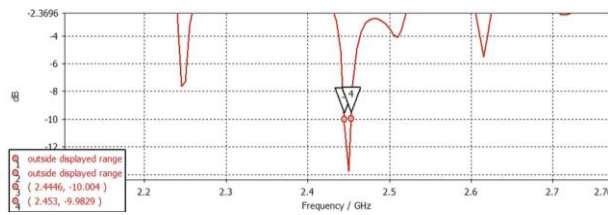
Gambar 4. Frekuensi kerja antena

Bandwidth antena pada frekuensi 885 MHz yaitu 32 MHz seperti ditampilkan pada gambar 5 dengan batas frekuensi bawah $f_L = 881$ MHz dan frekuensi atas $f_H = 913$ MHz.



Gambar 5. Hasil simulasi pada frekuensi 885 MHz

Bandwidth antena pada frekuensi 2.4 yaitu 10 MHz seperti ditampilkan pada gambar 6 dengan batas frekuensi bawah $f_L = 2.44$ GHz dan frekuensi atas $f_H = 2.45$ GHz.



Gambar 6. Hasil simulasi pada frekuensi 2.4 GHz

Antena yang telah difabrikasi dipasang konektor RSMA *jack male pin thru hole* vertikal dengan impedansi 50Ω pada bagian *feedline* agar antenna dapat dihubungkan dengan kabel seperti ditampilkan pada gambar 7. Kabel yang digunakan adalah kabel *pigtail* dengan ujung konektor RSMA *male* dan di ujung yang lainnya adalah konektor tipe-N.

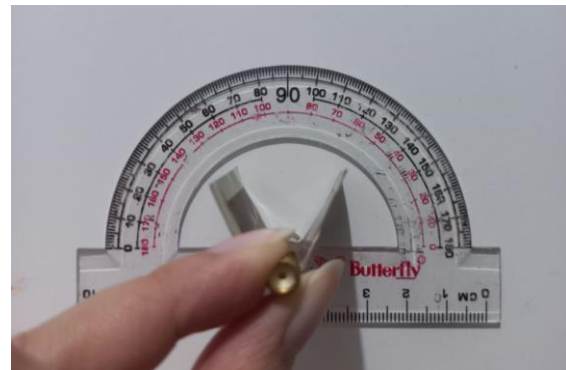


Gambar 7. Realisasi antenna

Pada kondisi awal, antenna diukur dari kondisi datar atau sudut 0° kemudian antenna dilekukkan (*bending*) dengan sudut 30° , 60° , dan 90° seperti pada gambar 8 dan diukur kembali.



(a)



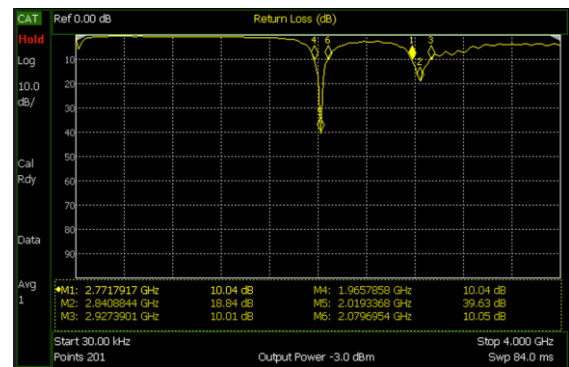
(b)



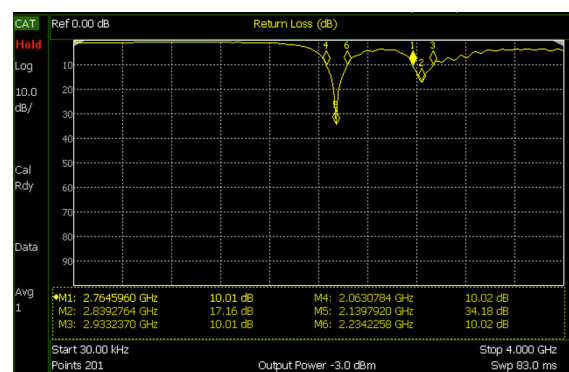
(c)

Gambar 8. Sudut *bending* antenna (a) 30° (b) 60° (c) 90°

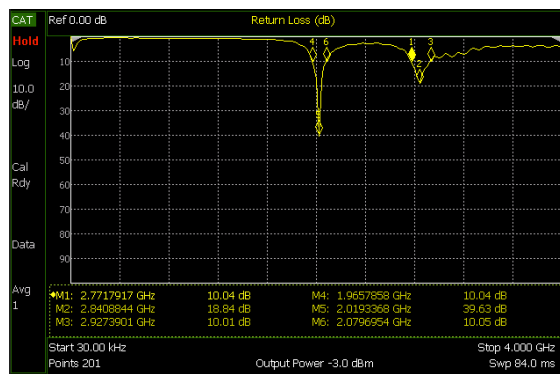
Hasil pengukuran antenna ditampilkan pada gambar 9.



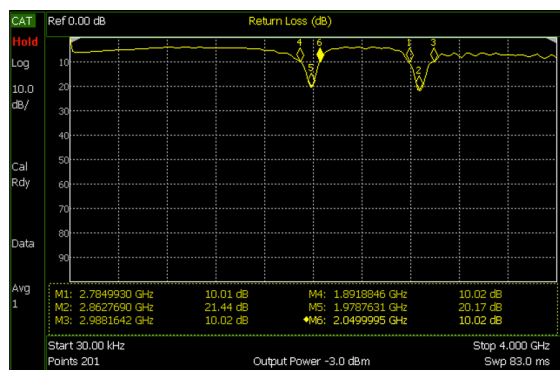
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 9. Hasil pengukuran antenna dengan sudut bending yang berbeda (a) 0° (b) 30° (c) 60° (d) 90°

Hasil pengukuran menunjukkan terdapat pergeseran frekuensi kerja dibandingkan dengan simulasi. Pada kondisi antenna datar 0°, terdapat dua frekuensi resonansi yaitu 2.17 GHz dan 2.9 GHz. Namun demikian, *bandwidth* pada antenna yang telah direalisasikan lebih lebar dibandingkan dengan simulasi.

Pada sudut bending 30°, 60°, 90° terdapat pegeseran frekuensi kerja yang berbeda-beda. Selain itu, sudut bending juga memengaruhi *return loss* dan juga *bandwidth* seperti ditampilkan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran antenna

Sudut	Band Frekuensi 1			Band Frekuensi 2		
	Frekuensi Resonansi (GHz)	Bandwidth (MHz)	Return Loss (dB)	Frekuensi Resonansi (GHz)	Bandwidth (MHz)	Return Loss (dB)
0°	2.17	120	-28.74	2.9	140	-34.18
30°	2.139	171	-34.18	2.839	170	-17.16
60°	2.019	114	-39.63	2.840	149	-18.84
90°	1.978	158	-20.17	2.862	200	-21.44

Pada band frekuensi 1, nilai *return loss* terbaik diperoleh pada sudut 60° sebesar -39,63

dB dan frekuensi resonansi 2.019 GHz. Sedangkan pada band frekuensi 2 nilai *return loss* terbaik diperoleh pada sudut 0° sebesar -34.18 dB. Bandwidth paling lebar yaitu 200 MHz yang diperoleh pada sudut bending 90°

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran, sudut bending pada antenna mikrostrip dengan bahan fleksibel FR9111 memberikan pengaruh pada pergeseran frekuensi resonansi, *return loss*, dan *bandwidth*. Dari parameter tersebut antenna mikrostrip dapat bekerja pada *dual band* frekuensi dengan nilai *return loss* dan *bandwidth* yang memenuhi kriteria spesifikasi antenna ideal. Antena ini dapat dikembangkan untuk aplikasi *wearable antenna*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. K. V. Das and T. Shanmuganantham, "Design of multiband microstrip patch antenna for IOT applications," in *2017 IEEE International Conference on Circuits and Systems (ICCS)*, Dec. 2017, pp. 87–92. doi: 10.1109/ICCS1.2017.8325968.
- [2] Y. Tambing, "Prototype Sistem Kontrol Lampu Berbasis Internet of Things (Iot) Menggunakan Nodemcu," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 1, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i1.3702.
- [3] F. Gamaliel and P. Y. D. Arliyanto, "Implementasi Alat Alarm Pengaman Pc Berbasis Internet of Things (Iot)," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 11, no. 3s1, 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3s1.3561.
- [4] F. Aryunita, N. Rasjid, and M. F. Mansyur, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Keamanan Kandang Ayam Bloiler Menggunakan Esp32-Cam Berbasis Iot Dengan Aplikasi Android," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 1, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i1.3699.
- [5] M. bahrul Ulum, "Sistem Monitoring Cuaca Dan Peringatan Banjir Berbasis Iot Dengan Menggunakan Aplikasi Mit App Inventor," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 11, no. 3, pp. 319–328, 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3.3088.
- [6] A. A. Elijah and M. Mokayef, "Miniature microstrip antenna for IoT application," *Mater. Today Proc.*, vol. 29, no. November 2018, pp. 43–47, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2020.05.678.
- [7] M. S. Shakhirul, M. Jusoh, A. H. Ismail, M. I. Jais, M. R. Kamarudin, and M. N. Osman,

- “Analysis of circular polarization textile antenna in bending condition,” *I4CT 2015 - 2015 2nd Int. Conf. Comput. Commun. Control Technol. Art Proceeding*, no. I4ct, pp. 360–363, 2015, doi: 10.1109/I4CT.2015.7219598.
- [8] N. I. Zaidi *et al.*, “Analysis on Bending Performance of the Electro-Textile Antennas with Bandwidth Enhancement for Wearable Tracking Application,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 31800–31820, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3160825.
- [9] B. Hu, B. Fisher, A. Guerra, and J. P. T. Mo, “Design of microstrip antenna and RF circuit for robust wireless communication of IoT devices under partial shield installation,” *2020 30th Int. Telecommun. Networks Appl. Conf. ITNAC 2020*, pp. 5–8, 2020, doi: 10.1109/ITNAC50341.2020.9315107.
- [10] D. Singh, K. R. Jha, and S. K. Sharma, “Low Cost Flexible Antenna for IoT Applications,” *2020 IEEE Int. Symp. Antennas Propag. North Am. Radio Sci. Meet. IEEECONF 2020 - Proc.*, pp. 1929–1930, 2020, doi: 10.1109/IEEECONF35879.2020.9329548.
- [11] F. Asadallah, G. Shehadeh, J. Costantine, Y. Tawk, A. Eid, and M. M. Tentzeris, “A Digitally Tuned Flexible Reconfigurable Antenna for IoT Devices,” *2020 IEEE Int. Symp. Antennas Propag. North Am. Radio Sci. Meet. IEEECONF 2020 - Proc.*, pp. 1803–1804, 2020, doi: 10.1109/IEEECONF35879.2020.9329456.
- [12] Y. Koga and M. Kai, “A Transparent Double Folded Loop Antenna for IoT Applications,” *Proc. 2018 8th IEEE-APS Top. Conf. Antennas Propag. Wirel. Commun. APWC 2018*, pp. 762–765, 2018, doi: 10.1109/APWC.2018.8503801.
- [13] M. A. S. M. Al-Haddad, N. Jamel, and A. N. Nordin, “Flexible Antenna: A Review of Design, Materials, Fabrication, and Applications,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1878, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1878/1/012068.
- [14] N. Prasad Gupta, M. Kumar, and R. Maheshwari, “Development and performance analysis of conformal UWB wearable antenna under various bending radii,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 594, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/594/1/012025.
- [15] M. U. A. Khan, R. Raad, F. Tubbal, and P. I. Theoharis, “The impact of bending on radiation characteristics of polymer-based flexible antennas for general iot applications,” *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 19, 2021, doi: 10.3390/app11199044.