

ANTENA MIKROSTRIP FLEKSIBEL 2,45 GHz UNTUK APLIKASI PENCARIAN DAN PENYELAMATAN *FLEXIBLE MICROSTRIP ANTENNA OF 2,45GHZ FOR SEARCH AND RESCUE APPLICATION*

Muhammad Fathan Hizbuddin¹, Bambang Setia Nugroho², Levy Olivia Nur³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung

¹hizbuddinfathan@gmail.com,

²bambangsetianugroho@telkomuniversity.ac.id, ³levy.olivia@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Komunikasi saat dan pasca terjadi bencana alam seperti gempa atau erupsi gunung berapi sangatlah penting terutama untuk proses penyelamatan, pengevuasian, dan pemulihan. Flexible device memiliki peran penting dalam situasi darurat karena praktis dan tidak mempersulit gerakan untuk melakukan penyelamatan dan pengevuasian oleh tim SAR (*search and rescue*). *Flexible antenna* merupakan jenis antena yang menggunakan bahan fleksibel sebagai substrat. Penggunaan bahan fleksibel pada antena membuat antena lebih mudah ringkas, ringan dan tipis sehingga lebih nyaman digunakan terutama pada saat penyelamatan dan pencarian yang membutuhkan fleksibilitas tinggi. Antena yang dirancang menggunakan bahan Roger 3003c dengan patch berbentuk bowtie pada frekuensi Industry Scientific and Medical (ISM) 2,45 GHz, penambahan elemen parasitik digunakan dalam penelitian ini untuk menaikkan nilai bandwidth. Hasil simulasi menunjukkan antena bekerja pada frekuensi tengah 2,45 GHz dengan bandwidth sebesar 530, gain sebesar 3,19 dan pola radiasi unidirectional. Pada antena yang direalisasikan dan diukur baik VSWR dan return loss masing-masing dibawah 2 dan -10. Bandwidth yang dihasilkan hasil pengukuran sebesar 370 MHz dan gain 2,86 dB.

Kata Kunci: *Search and Rescue, Flexible antenna, Industrial, Scientific and Medical (ISM)*

Abstract

Communication during and immedietly the disasters such as earthquakes or volcanic eruptions is very important especially for the process of rescue, evacuation and recovery. Flexible devices have an important role in emergency situations because they are practical and do not make it difficult for movement to rescue and evacuate by the SAR team (search and rescue). *Flexible antenna* is a type of antenna that uses flexible material as a substrate. The use of flexible materials on the antenna makes the antenna easier to compact, lightweight and thin so that it is more comfortable to use, especially during rescue and search that requires high flexibility. Antenna designed using Roger 3003c with bowtie patch on Industry Scientific and Medical (ISM) frequency of 2.45 GHz, parasitic element was used in this study to increase the bandwidth value. The simulation results show that the antenna works at a central frequency of 2.45 GHz with a bandwidth of 530, a gain of 3.19 and an unidirectional radiation pattern. The antenna is realized and measured both VSWR and return loss under 2 and -10 respectively. The bandwidth produced by the measurement results is 370 MHz and gains 2.86 dB.

Keywords: *Search and Rescue, Flexible antenna, CPW, Industrial, Scientific and Medical (ISM)*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi saat ini sangatlah pesat salah satunya teknologi *wireless*. Teknologi *wireless* merupakan salah satu peran penting dalam perkembangan sistem komunikasi. Saat ini banyak sekali perangkat yang dapat saling terhubung satu sama lain sehingga sangat mudah diaplikasikan pada berbagai macam situasi dan kondisi. Berkembangnya teknologi *wireless* juga diikuti dengan berkembangnya perangkat sistem komunikasi, salah satunya antena. *Flexible antenna* merupakan salah satu perkembangan dari antena, antena ini menggunakan bahan fleksibel sebagai substrat. Kebutuhan akan komunikasi saat terjadi bencana gempa atau erupsi gunung berapi sangat dibutuhkan terutama pada proses penyelamatan dan pengevuasian. Teknologi *Flexible antenna* diharapkan mampu menjadi solusi sulitnya komunikasi antar tim penyelamat yang sangat membutuhkan komunikasi dengan mudah dan memilki fleksibilitas tinggi. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini ini penulis mengembangkan kembali penelitian sebelumnya dengan menggunakan bentuk *patch bowtie* dengan bahan substrat roger 3003c dan *copper* sebagai konduktor. Parameter antena yang diukur antara lain nilai gain, pola radiasi, VSWR, *return loss*, polarisasi. Pengujian antena dilakukan dalam 3 kondisi yaitu kondisi normal, saat dibengkokkan dan *on-body*. Pengujian fleksibilitas antena dengan membengkokkan antena untuk membuktikan bahwa antena fleksibel mempunyai sifat yang dinamis dan mudah di aplikasikan pada perangkat

wearable. Pengujian *on-body* dilakukan dengan meletakkan antenna pada beberapa bagian tubuh manusia dengan hasil akhir nilai *gain*, pola radiasi dan *Specific Absorption Ratio* yang sesuai persyaratan dan bisa diaplikasikan untuk aplikasi pencarian dan penyelamatan di frekuensi Industrial, Scientific and Medical (ISM) 2,45 GHz.

2. Frekuensi Industrial, Scientific and Medical (ISM)

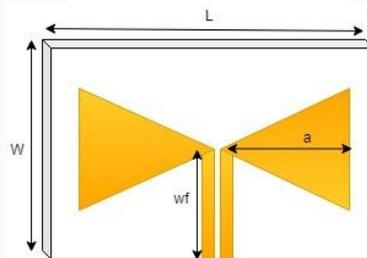
Frekuensi *Industrial, Scientific and Medical* merupakan (ISM) salah satu *unlicensed bands* yang disetujui oleh *Federal Communication Commission* (FCC) pada tahun 1985 dan termasuk ke dalam salah daftar *Unlicensed National Information*, yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut [6]:

Tabel 1 Daftar Unlicensed National Information

Unlicensed Band	Frekuensi	Total Bandwidth
<i>Industrial, Scientific and Medical (ISM)</i>	902 – 928 MHz 2,4 – 2,4835 GHz 5,725 – 5,85 GHz	234,5 MHz
<i>Unlicensed Personal Communication Services</i>	1910 – 1930 MHz 2390- 2400 MHz	30 MHz
<i>Unlicensed National Information Infrastructure (UNII)</i>	5,15 – 5,25 GHz 5,25 – 5,35 GHz 5,725 – 5,825 GHz	300 MHz
<i>Milimeter Wave</i>	59 – 64 GHz	5 GHz

3. Antena Mikrostrip Patch Sirkular

Antena Patch bowtie merupakan pengembangan dari antena bowtie yang masuk dalam jenis antena dipole. Kelebihan bentuk bowtie yaitu mempunyai radiator besar dan menghasilkan frekuensi kerja yang sama pada kedua sisinya.



Gambar 1 Antena Mikrostrip Patch Bowtie

Gambar 1 merupakan salah bentuk antena mikrostrip. Untuk merancang antena mikrostrip *patch bowtie*, diperlukan informasi mengenai konstanta dielektrik (ϵ_r), frekuensi resonansi (f_r), tebal substrat (h). Perancangan antena mikrostrip sirkular dilakukan secara bertahap dengan cara melakukan perhitungan terlebih dahulu untuk mencari dimensi dari antena dengan menggunakan persamaan (1 – 8). Antena mikrostrip memiliki penampang untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik yang biasa di sebut *patch*. Untuk menentukan dimensi *patch bowtie* dapat digunakan rumus berikut :

$$\lambda_g = \frac{c}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

Nilai λ_g digunakan untuk mendapatkan nilai sisi (a) *patch* bowtie atau posisi Panjang gelombang pada 180° dengan :

$$a = \frac{1}{2} \lambda_g \quad (2)$$

Pada antena mikrostrip terdapat saluran transmisi sebagai catuan sebuah antena. Umumnya saluran transmisi menggunakan impedansi $z_0 = 50 \Omega$ menyesuaikan impedansi kabel yang banyak beredar di pasar. Panjang dan lebar saluran transmisi didapat menggunakan rumus :

$$W_f = \frac{2xh}{\pi} x \left[B - 1 - \ln(2B - 1) \right] x \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} x \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \quad (3)$$

$$B = \frac{60 x \pi^2}{z_0 x \sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

Setelah mendapatkan nilai W_f , kemudian dilanjutkan menghitung nilai ϵ_{eff} yang didapatkan menggunakan rumus menurut Hammerstad dan Bekkadal berikut[3]:

$$\text{Untuk } \frac{W_f}{h} \leq 1$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\left(1 + \frac{12h}{W_f} \right)^{-1/2} + 1 + \left(0,04 + \frac{W_f}{h} \right)^2 \right] \quad (5)$$

$$\text{Untuk } \frac{W_f}{h} > 1$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\left(1 + \frac{12h}{W_f} \right)^{-1/2} \right] \quad (6)$$

Setelah mendapatkan nilai ϵ_{eff} maka dicari lambda bahan yang memiliki ϵ_{eff} pada suatu material.

$$\lambda_c = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (7)$$

Nilai λ_g digunakan untuk mendapatkan dimensi saluran transmisi (*feed*), untuk mendapatkan nilai tersebut digunakan rumus transformasi lamda/4 :

$$L_f = \frac{1}{4} \lambda_c \quad (8)$$

4. Phantom

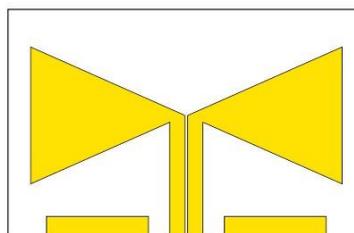
Phantom merupakan susunan struktur yang merepresentasikan model tubuh manusia seperti lengan, dada, paha, kepala. Perancangan *phantom* harus sesuai dengan bentuk dan karakteristik bagian tubuh manusia, mulai dari fisiknya seperti tebal kulit, lemak, tulang, otot hingga dari karakteristik khususnya seperti nilai permeabilitas, permitivitas dan konduktivitasnya. Adapun pada penelitian ini menggunakan kepala sebagai *phantom*, berikut merupakan dimensi phantom kepala[10] :

KEPALA	
skin	3 mm
fat	5 mm
skull	10 mm
brain	24 mm

Gambar 2 Dimensi phantom kepala.

Dalam pemasangan komponen yang memaparkan gelombang radio elektromagnetik ke tubuh diperlukan sebuah persyaratan batas maksimal agar tubuh tetap aman dari radiasi yang disebut sebagai Specific Absorption Ratio (SAR). SAR merupakan ukuran tingkat energi yang diserap oleh tubuh saat terpapar frekuensi radio medan elektromagnetik, didefinisikan juga sebagai daya yang diserap per massa dari jaringan dengan satuan watt per kilogram (W/kg). Berdasarkan standar internasional ANSI/IEEE (Amerika) 1 g SAR yang diperbolehkan sebesar 1,6 W/kg, 1 g SAR merupakan massa jaringan yang diambil untuk tes uji pada tubuh, 1,6 W/kg SAR setara dengan 1,6 mW/g sehingga setiap 1 kg massa tubuh, penyerapan elektromagnetik yang diperbolehkan sebesar 1 W[8].

5. Perancangan Antena



Gambar 3 Desain Antena

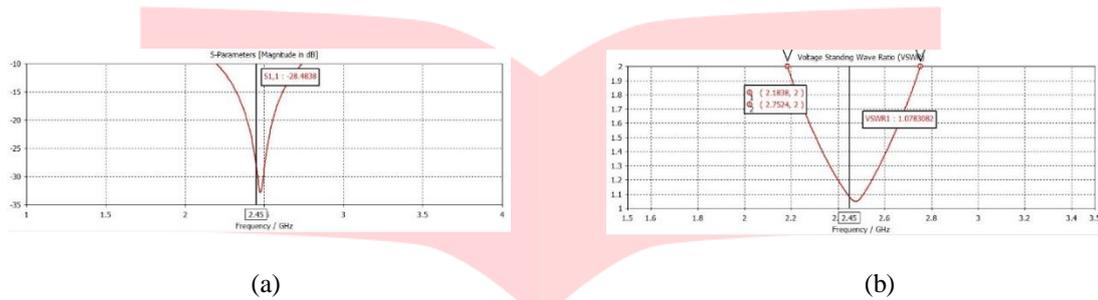
Gambar 3 merupakan desain akhir dari antenna, dalam penelitian ini antenna menggunakan metode *elemen parasitik*, yaitu menambahkan konduktor dibagian bawah patch untuk meningkatkan bandwidth [9]. Antena berbahan roger 3003c, dimensi akhir antenna dapat dilihat di Tabel 2.

Tabel 2 Dimensi Antena

Dimensi	a	Wf	Lf	gap	L	W	gap'	Wc	Lc
Nilai (mm)	30,3	3	24	0.5	45	70	4.2	20	4

6. Hasil Simulasi

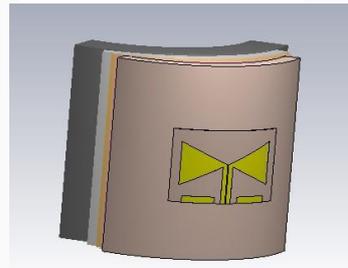
6. 1. Hasil simulasi antenna



Gambar 4 Hasil simulasi (a) *return loss* (b) VSWR

Hasil akhir optimasi dapat dilihat pada gambar 4 menunjukkan bahwa nilai parameter telah mencapai spesifikasi yang diinginkan dengan *returnloss* yang didapatkan -28,4 dB , VSWR 1,07 dB , dan *gain* yang dicapai sebesar 3,194 dBi. Daerah kerja antenna pada rentang 2,18 – 2,75 GHz dengan bandwidth sebesar 570 MHz.

6. 2. Hasil Simulasi Kondisi *On-body*



Gambar 5 Simulasi Antena *On Body* Pergelangan Tangan

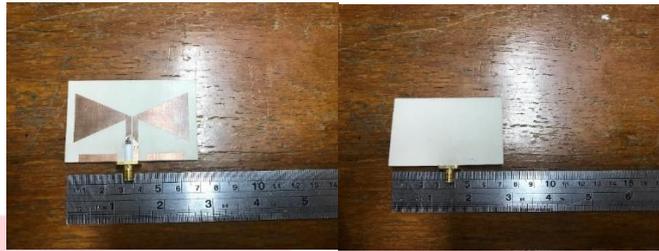
Gambar 5 merupakan simulasi antenna pada kondisi *on body phantom* kepala. Setelah melakukan simulasi antenna dengan kondisi *on body* di *phantom* kepala didapatkan hasil parameter antenna yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Simulasi *On Body Phantom* Pergelangan Tangan

Parameter	Nilai (jarak 1 mm)	Nilai (Jarak 10 mm)
<i>Return loss</i>	-10.6 dB	-18 dB
VSWR	1.84 dB	1.2 dB
<i>Gain</i>	4.28 dB	5.216 dB
Pola Radiasi	<i>Unidirectional</i>	<i>Unidirectional</i>
SAR	1.8	0.202

7. Pengukuran dan Analisis

Realisasi antenna mikrostrip *patch bowtie* dengan catuan cpw ini dilakukan dengan cara fotoetching. Hasil dari realisasi ini kemudian disambungkan dengan konektor SMA Female Clamp Panel pada bagian bawah dari saluran transmisinya.



Gambar 6 Hasil Pabrikasi Antena Tampak Depan (a), Belakang (b)

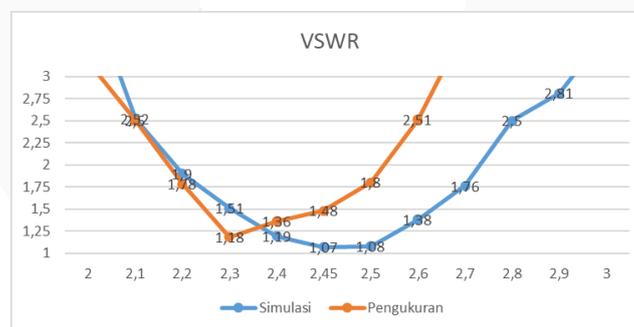
7.1 Pengukuran VSWR dan *Bandwidth*



Gambar 7 Pengukuran VSWR dan *Bandwidth* Kondisi Biasa dan *onbody*

Gambar 7 merupakan konfigurasi pengukuran VSWR dan *bandwidth* kondisi biasa dan *on body* menggunakan *Network Analyzer*, pengukuran dilakukan di Laboratorium Elektro Komunikasi Universitas Telkom. Pada pengukuran kondisi biasa, antenna diletakkan seperti biasa tanpa ada hambatan apapun, sedangkan pada pengukuran kondisi *on body*, antenna didekatkan dengan jarak 1 mm pada helm.

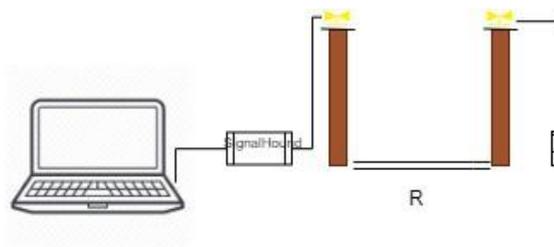
7.2 VSWR dan *Bandwidth* di Kondisi Biasa dan *On Body*



Gambar 8 Grafik Perbandingan Nilai VSWR Kondisi Biasa dan *On Body*

Gambar 8 menunjukkan perbandingan hasil VSWR pengukuran dan simulasi. VSWR yang didapatkan hasil pengukuran antenna sebesar 1,49 dB dan dapat bekerja dengan baik di rentang 2,17 – 2,54 GHz sehingga mempunyai *bandwidth* sebesar 370 MHz. Hasil ini berbeda dengan hasil simulasi antenna, pada simulasi didapatkan VSWR antenna sebesar 1,07 dan dapat bekerja dengan baik direntang frekuensi 2,18 – 2,75 GHz sehingga mempunyai *bandwidth* sebesar 570 MHz.. Hasil pengukuran tersebut membuktikan bahwa antenna dapat bekerja dengan baik dengan kondisi biasa maupun *on body*.

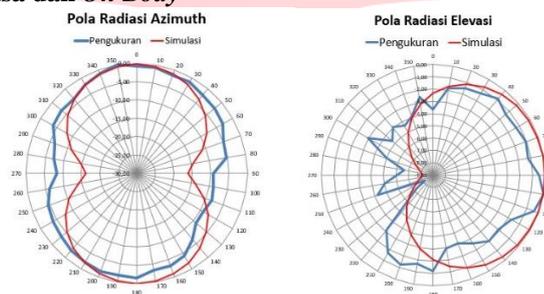
7.3 Pengukuran Pola Radiasi dan Gain



Gambar 9. Konfigurasi Pengukuran *Gain* dan Pola Radiasi Antena

Gambar 9 merupakan konfigurasi pengukuran *gain* dan pola radiasi dari antena yang dilakukan pada jarak medan jauh antena. Pada pengukuran kondisi biasa, *Antena Under Test (AUT)* yang berfungsi sebagai antena penerima diletakkan di masting antena seperti biasa, lalu diukur daya terima antena menggunakan *signal hound*. Sedangkan pada pengukuran kondisi *on body*, *AUT* diletakkan pada pergelangan tangan sebagai gelang, lalu diukur dengan cara yang sama seperti pengukuran kondisi biasa.

7.4 Pola Radiasi Kondisi Biasa dan *On Body*



Gambar 10 Perbandingan Hasil Pengukuran Pola Radiasi Kondisi Biasa dan *On Body*

Gambar 10 merupakan perbandingan hasil pengukuran pola radiasi saat kondisi biasa dan *on body*. Terlihat bahwa pola radiasi yang di dapatkan dari pengukuran dan simulasi adalah unidirectional, namun terjadi perbedaan antara hasil pengukuran dan hasil simulasi. Hal tersebut disebabkan oleh beberapa faktor yaitu : pengukuran tidak dilakukan di dalam ruang anechoic chamber sehingga rentan terjadi interferensi dari gelombang yang dipancarkan oleh perangkat lain dan perangkat yang digunakan dalam pengukuran sudah lama tidak di kalibrasi.

7.5 Pengukuran *Gain* Kondisi *On Body*

Pada pengukuran *gain* saat kondisi *on body* dilakukan dengan menggunakan bagian tubuh kepala berjarak 1 mm. Untuk mengetahui kondisi saat dimana performa antena yang optimal, maka pada pengukuran *gain* digunakan skema antena seperti pada Gambar 12 sebagai berikut:



Gambar 12. Pengukuran *Gain on-body*

Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan *gain* sebesar **4,4 dB**, hasil *gain* pada kondisi *on-body* berbeda dengan kondisi normal yaitu sebesar **2,39 dB**. Adapun perbedaan hasil ini disebabkan oleh adanya helm dan kepala manusia yang menempel pada bagian belakang antena sehingga menjadi *reflector* antena, hal tersebut berakibat pada meningkatnya *gain* karena daya pancar antena di fokuskan ke depan.

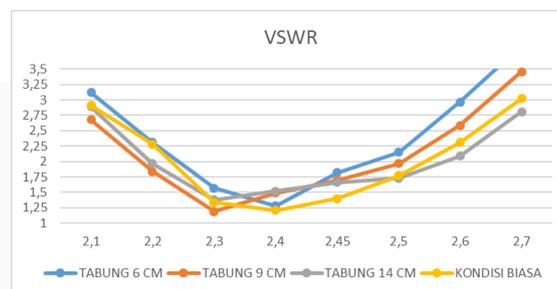
8. Pengujian Fleksibilitas Antena

Pengujian fleksibilitas terhadap pola radiasi sama dengan pengukuran saat kondisi biasa yaitu menggunakan *signal hound* dan *signal generator* dengan skema pengukuran sama dengan pengukuran saat kondisi biasa. Pengujian pola radiasi dimaksudkan untuk mengetahui dapatkah antena bekerja pada saat dibengkokkan. Cara dan prosedur yang dilakukan sama dengan pengukuran VSWR, *bandwidth* dan gain pada kondisi normal, yang berbeda adalah kondisi antena yang dililitkan ke tabung saat pengukuran. Gambar 13 merupakan tabung yang dipakai dalam pengujian fleksibilitas antena:



Gambar 13. Tabung Dengan Diameter 6, 9 dan 14 cm Untuk Uji Fleksibilitas

8.1 Pengujian Nilai VSWR dan *Bandwidth*



Gambar 14. Grafik Perbandingan VSWR Hasil Uji Fleksibilitas

Hasil VSWR pada frekuensi kerja 2,45 GHz terlihat pada gambar 14. Nilai VSWR terlihat semakin tinggi saat antena disesuaikan bentuknya dengan tabung berdiameter kecil. Hal tersebut terjadi karena adanya pembengkokan pada bagian feed saat disesuaikan dengan ukuran diameter tabung yang semakin mengecil, sehingga matching impedance antena berkurang yang akhirnya membuat nilai VSWR naik. Namun dari hasil uji fleksibilitas antena dapat diambil kesimpulan bahwa antena masih sesuai dengan spesifikasi saat dibengkokkan sesuai ukuran tabung berdiameter hingga 6 cm. .

8.2 Pengujian Nilai *Gain*

Tabel 4 Hasil Gain Uji Fleksibilitas

Kondisi	Gain (dBi)
Normal	2,39
Bending 14 cm	2,04
Bending 9 cm	1,64
Bending 6 cm	1,23

Dapat dilihat pada Tabel 4, *Gain* yang didapatkan dari hasil pengujian fleksibilitas dibawah hasil pengukuran pada saat kondisi normal. Namun, semakin kecil diameter pipa yang digunakan maka akan membuat *gain* antena mengecil, hal ini dikarenakan semakin kecil diameter pipa yang digunakan akan membuat antena semakin melengkung, khususnya di bagian *patch* yang membuat luas *patch* menyempit, padahal peran *patch*

dalam antenna mikrostrip adalah sebagai pemancar dan penerima gelombang elektromagnetik. Menyempitnya luas *patch* membuat hilangnya sebagian daya yang diterima antenna, sehingga nilai *gain*-pun ikut menurun.

9. Kesimpulan

Kesimpulan dari tugas akhir berjudul “Fleksibel Antena Mikrostrip 2,45 GHz Untuk Aplikasi Pencarian dan Penyelamatan” setelah melewati proses perhitungan, simulasi, realisasi antenna mikrostrip dengan *patch bowtie* menggunakan Teknik *elemen parasitik* pada frekuensi tengah 2,45 GHz adalah sebagai berikut :

1. Antena mikrostrip dengan *patch bowtie* dan Teknik CPW dapat bekerja dengan baik pada frekuensi 2,45 GHz. Hal tersebut dikarenakan nilai parameter yang sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan dengan *gain* sebesar 2.85 Ghz, polaradiasi *unidirectional*.
2. Hasil simulasi *return loss* adalah -32.8. dB sedangkan hasil pengukuran adalah -21.69 dB dan VSWR sebesar simulasi adalah 1.07 sedangkan hasil pengukuran adalah 1.47.
3. Hasil pengukuran antenna *on-body* yaitu gain 4.4 dB, hasil lebih besar dibandingkan dengan kondisi biasa dikarenakan adanya reflector berupa tubuh.
4. Penambahan Teknik *elemen parasitik* dapat memperlebar *bandwidth* dari sebelumnya 240 MHz menjadi 570 MHz, namun hasil pengukuran mengalami penurunan *bandwith* menjadi 370 MHz.
5. Antena mikrostrip dapat bekerja dengan baik saat dilengkungkan sesuai bentuk pipa yang berdiameter 6, 9 dan 14 cm karena saat dilengkungkan dengan pipa tersebut parameter antenna masih sesuai dengan spesifikasi. Namun, semakin kecil diameter pipa yang digunakan maka akan membuat *gain* antenna mengecil, hal ini dikarenakan daya terima yang hilang karena lengkungan di antenna membuat luas *patch* sebagai pemancar antenna menyempit.
6. Perancangan antenna dengan Teknik *elemen parasitik* dapat meningkatkan performansi antenna khususnya dalam memperlebar *bandwidth* dan merubah pola radiasi menjadi *unidirectional*.
7. Flexiksel antenna mikrostrip dengan *patch bowtie* ini dapat bekerja dengan baik pada frekuensi 2,45 GHz dalam kondisi *bending* maupun *On-body* sehingga dapat di aplikasikan pada komunikasi darurat *point to point* pada tim penyelamatan dan pencarian.

10. Daftar Pustaka

- [1] M. R. Amri *et al.*, “Risiko Bencana Indonesia,” p. 218 pp., 2006.
- [2] R. Joshi, C. Constantinides, S. K. Podilchak, and P. J. Soh, “Dual-Band Folded-Shorted Patch Antenna for Military Search and Rescue Operations and Emergency Communications,” *2018 18th Int. Symp. Antenna Technol. Appl. Electromagn.*, pp. 1–2, 2018.
- [3] C. Parmar and S. Joshi, “Wearable textile patch antenna for on-body communications,” *Glob. Conf. Commun. Technol. GCCT 2015*, no. Gcct, pp. 921–924, 2015.
- [4] R. Salvado, C. Loss, Gon, and P. Pinho, “Textile materials for the design of wearable antennas: A survey,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 12, no. 11, pp. 15841–15857, 2012.
- [5] C. A. Balanis, *Antenna {T}heory*. 1997.
- [6] H. Jasik, *Antenna Engineering Handbook*. McGRAW-HILL, 1961.
- [7] S. R. Saunders, *Antenna and Propagation for Wireless Communication System*. Wiley, 1999.
- [8] A. Sabban, “Small Wearable Antennas for Wireless Communication and Medical Systems,” pp. 161–164, 2018.
- [9] R. A. Thesis *et al.*, “Electromagnetic modelling of human tissues and its application on the interaction between antenna and human body in the BAN context,” *THESIS - U Paris*, no. July 2009, 2009.
- [10] S. W. K. Wardhani, Basari, F. Y. Zulkifli, and E. T. Rahardjo, “Effect of human head phantom models on the performance of dipole antenna at 5.8 GHz,” *14th Int. Conf. QiR (Quality Res. QiR 2015 - conjunction with 4th Asian Symp. Mater. Process. ASMP 2015 Int. Conf. Sav. Energy Refrig. Air Cond. ICSERA 2015*, pp. 12–15, 2016.
- [11] E. N. En, “Sar Test Report,” vol. 1, no. 408, pp. 1–21, 2015.
- [12] M. Kuscu, A. Kiraz, and O. B. Akan, “Fluorescent Molecules as Transceiver Nanoantennas: The First Practical and High-Rate Information Transfer over a Nanoscale Communication Channel based on FRET,” *Sci. Rep.*, vol. 5, pp. 1–6, 2015.
- [13] U. Mussa, M. K. A. Rahim, and M. A. Hamid, “Circular Polarized Textile antenna at 2 . 4 GHz,” pp. 964–965, 2016.
- [14] S. R. Avenue, “RT/duroid ® 3003 ,” pp. 100–101.