

DESAIN MINIATUR *MEANDER PLANAR INVERTED F* ANTENNA PADA 915 MHZ UNTUK TANGAN BIONIK MENGGUNAKAN *DESIGN OF EXPERIMENT*

Liya Yusrina Sabila¹,
Program Studi Teknik Elektro Universitas Ahmad Dahlan
Email: liya.sabila@te.uad.ac.id

Teguh Prakoso²
Program Studi Teknik Elektro Universitas Diponegoro
Email: teguhprakoso@elektro.undip.ac.id

Munawar Agus Riyadi²
Program Studi Teknik Elektro Universitas Diponegoro
Email: munawar@elektro.undip.ac.id

ABSTRACTS : *To improve the quality of the bionic hands used by some disabled people, new innovations are needed. By implementing IoT in the development of bionic hands, it can make it easier for patients to obtain information, such as monitoring battery capacity, bionic hand life, and bionic hand health. So we need a component that is able to transmit this information. In this paper, we are the Meander Planar Inverted F Antenna (PIFA) at a frequency of 915 – 925 MHz which is compatible with Sigfox or LoRa IoT technology. The antenna is designed to have miniature characteristics so that it does not interfere with other components when implanted in the bionic arm and is curved so that it can follow the curved shape of the bionic arm. The miniature technique used is the winding technique and the conformal technique is used to give a curved effect to the antenna. The design is carried out very systematically by streamlining the steps using the Design of Experiment method. It is proven that it only takes 6 steps to get results that match the specifications. The simulation results show the value of S_{11} is -21 dB, resonant frequency is 924.9 MHz, bandwidth is 13.5 MHz, gain is -23.34 dBi and radiation pattern is omnidirectional.*

Keyword: *Meander; Planar Inverted F Antenna; 915 MHz; Bionic Arm; Design of Experiment; Conformal; Miniature*

ABSTRAK: Untuk meningkatkan kualitas tangan bionik yang digunakan oleh beberapa penyandang disabilitas, diperlukan inovasi baru. Dengan menerapkan IoT dalam pengembangan tangan bionik dapat memudahkan pasien untuk mendapatkan informasi, seperti monitoring kapasitas baterai, umur tangan bionik dan kesehatan tangan bionik. Sehingga diperlukan adanya komponen yang mampu mengirimkan informasi tersebut. Dalam makalah ini, kami menyelidiki antenna *Meander Planar Inverted F Antenna* (PIFA) pada frekuensi 915 – 925 MHz yang kompatibel dengan teknologi Sigfox atau LoRa IoT. Antena dirancang memiliki karakteristik miniatur sehingga tidak mengganggu komponen lain saat ditanamkan di tangan bionik dan melengkung sehingga dapat mengikuti bentuk lengkung tangan bionik. Teknik miniatur yang digunakan adalah teknik *meander* dan teknik konformal digunakan untuk memberikan efek lengkung pada antena. Perancangan dilakukan dengan sangat sistematis dengan mengefektifkan langkah-langkah menggunakan metode *Design of Experiment*. Terbukti hanya membutuhkan 6 langkah untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi. Hasil simulasi menunjukkan nilai S_{11} sebesar -21 dB, frekuensi resonansi 924,9 MHz, *bandwidth* 13,5 MHz, gain -23,34 dBi dan pola radiasi omnidirectional.

Kata Kunci: Meander; Planar Inverted F Antenna; 915 MHz; Tangan Bionik; Design of Experiment; Konformal; Miniatur

PENDAHULUAN

Untuk meningkatkan kualitas tangan bionik yang digunakan oleh beberapa penyandang disabilitas yang tidak memiliki tangan, diperlukan inovasi baru. Saat ini telah berkembang teknologi *Internet of Things* (IoT) yang dapat diterapkan pada banyak kebutuhan. Salah satunya untuk pengembangan tangan bionik. Dengan penerapan IoT dalam pengembangan tangan bionik dapat memudahkan pasien untuk mendapatkan informasi, seperti monitoring kapasitas baterai, umur tangan bionik dan kesehatan tangan bionik. Terkait dengan hal tersebut, diperlukan adanya komponen yang mampu mengirimkan informasi tersebut ke *cloud internet*. Salah satu komponen yang dapat digunakan adalah antena. Antena berfungsi sebagai alat untuk mentransmisikan sinyal, dalam hal ini sinyal dapat diartikan sebagai informasi yang akan dikirim [1]–[3]. Saat ini tidak ada antena yang diterapkan pada tangan bionik. Oleh karena itu, pembaharuan ini dapat digunakan sebagai inovasi terbaru yang diterapkan pada tangan bionik yang bekerja pada frekuensi 915 MHz sesuai dengan teknologi IoT yaitu Sigfox dan LoRa [4], [5].

Pada penelitian [6] menunjukkan perancangan antena yang dilakukan pada frekuensi disekitar 900 MHz yang diterapkan untuk aplikasi biomedis dengan ukuran 13 x 13 x 1.27 mm. Sedangkan pada penelitian

¹ Universitas Ahmad Dahlan

² Program Studi Teknik Elektro Universitas Diponegoro

[7] melakukan penelitian antenna untuk jam tangan pada frekuensi yang sama. Hanya saja pada kedua penelitian tersebut belum menggunakan teknik meander untuk meminimalisasi ukuran antenna. Maka dari itu, *Planar Inverted F Antenna* (PIFA) menjadi pilihan untuk mewujudkan ide tersebut, karena PIFA telah terbukti digunakan dalam bidang kesehatan [8]–[12]. Dalam mendesain antenna selama ini masih menggunakan metode *trial and error*. Hal ini membuat desain dilakukan dalam waktu yang lebih lama. Untuk mengefektifkan sistematika perancangan, penelitian ini menggunakan metode *Design of Experiment* (DOE). Metode DOE terbukti lebih efisien pada tahap desain dan lebih sistematis [13], [14]. Selain itu, antenna didesain untuk membidik mengikuti bentuk lengkung tangan dan berukuran mini namun tetap memiliki performa yang maksimal. Oleh karena itu, dalam perancangan, antenna ini diterapkan teknik konformal dan teknik *meander*. Teknik konformal dapat memberi efek pada antenna yaitu bentuk lengkung untuk memudahkan penanaman antenna pada tangan bionik [15]–[17], dan teknik *meander* diketahui dapat memberikan pengaruh sehingga antenna berukuran mini atau sangat kecil [18]–[20].

Metodologi penelitian dijelaskan di Bagian II, spesifikasi dan desain awal dijelaskan di sini. Bagian III menyajikan hasil dan pembahasan. Dan bagian IV adalah kesimpulan.

METODOLOGI

A. Spesifikasi dan Desain Awal

Antena ini akan dibuat dengan material FR-4 dengan konstanta dielektrik 4,3 sebagai material substrat, sedangkan tembaga sebagai material *patch* dan *ground*. Ketebalan antenna adalah 1,6 mm dan ketebalan tembaga 0,0035 mm. Spesifikasi dapat dilihat pada Tabel 1. Dalam hal ini menggunakan 2 software yaitu CST Microwave Studio untuk mendesain antenna dan Minitab 7 untuk menganalisa menggunakan metode DOE. Ukuran nominal *meander* PIFA adalah 915 GHz, dihitung langsung dari rumus desain yang ditabulasikan pada Tabel 2. Gambar 1 adalah desain awal atas, Gambar 2 adalah desain tampak samping dan Gambar 3 adalah hasil S_{11} dari desain antenna awal ini.

Hasil S_{11} pada Gambar 3 menunjukkan bahwa desain awal perlu disesuaikan untuk mendapatkan hasil yang sesuai atau mendekati spesifikasi pada Tabel 1. S_{11} yang dihasilkan adalah -1.1 dB pada frekuensi resonansi 882,5 MHz. Sebelum melakukan *tuning*, perlu dilihat terlebih dahulu hasil kinerja anten dengan menerapkan efek konformal dan menambahkan bahan tangan bionik.

■ Tabel 1. Spesifikasi untuk antenna 915 MHz

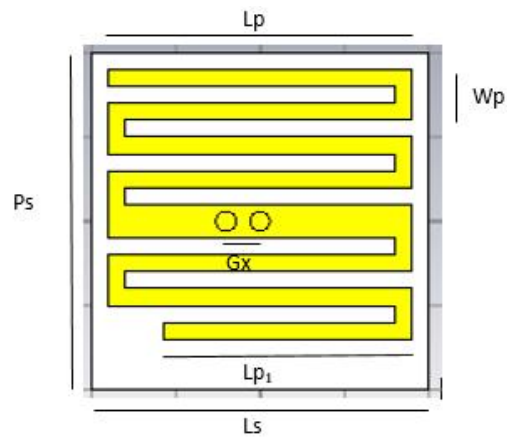
Parameter	Spesifikasi
Jangkauan frekuensi	919 MHz – 925 MHz
Frekuensi resonansi	922 MHz
<i>Bandwidth</i>	6 MHz
S_{11}	≤ -10 dB
<i>Gain</i>	≥ -30 dBi
Pola radiasi	Omnidirectional

■ Tabel 2. Ukuran nominal

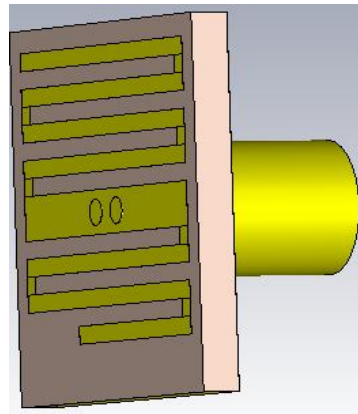
Factor	Size
Lebar jalur (Wp)	0.8 mm
Jari-jari <i>shorting pin</i> (P_1)	0.6 mm
Jari-jari <i>feed</i> (P_2)	0.6 mm
Jarak <i>short</i> dan <i>feed</i> (Gx)	1.1 mm
Panjang jalur (L_p)	16 mm
Panjang jalur 2 (L_{p1})	11 mm

B. Efek Bentuk Konformal dan Bahan Tangan Bionik

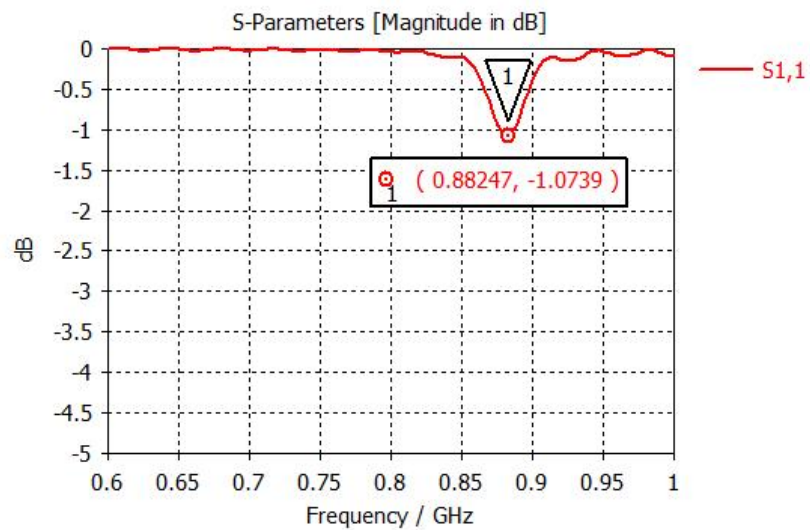
Pada bagian ini, pengaruh kinerja antenna pada bentuk konformal dan bahan tangan bionik akan diperiksa. Antena dirancang untuk dipasang pada pergelangan tangan bionik dengan radius kelengkungan 5 cm. Gambar 4 menunjukkan desain saat diberi bentuk konformal dan Gambar 6 menunjukkan desain saat bahan tangan bionik ditambahkan. Bahan tangan bionik yang digunakan adalah silikon. Dari hasil kedua simulasi yang dilakukan terdapat efek pergeseran frekuensi, hal ini dapat ditunjukkan dari hasil S_{11} pada Gambar 5 dan Gambar 7. Terjadi pergeseran frekuensi pada kedua simulasi tersebut. Dengan bentuk konformal, frekuensi bergeser hingga 902,1 MHz dan bergeser hingga 903,7 MHz saat ditambahkan bahan tangan bionik. Hal ini membuktikan bahwa teknik konformal dan penambahan bahan tangan bionik dapat menggeser frekuensi ke arah frekuensi yang lebih tinggi pada *Meander* PIFA.



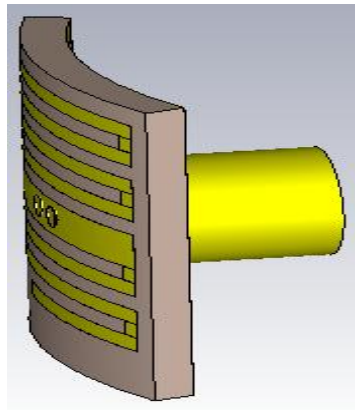
■ **Gambar 1.** Desain awal antenna bagian atas



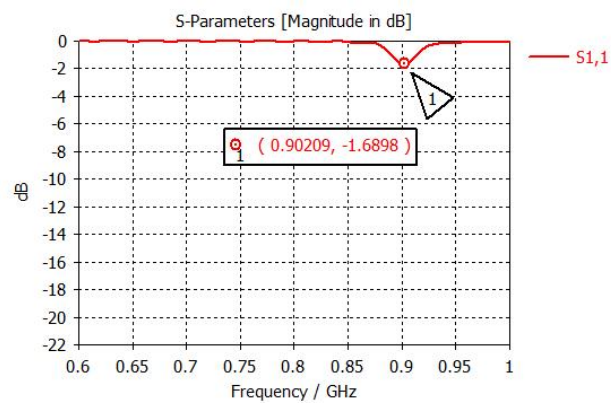
■ **Gambar 2.** Desain awal antenna bagian samping



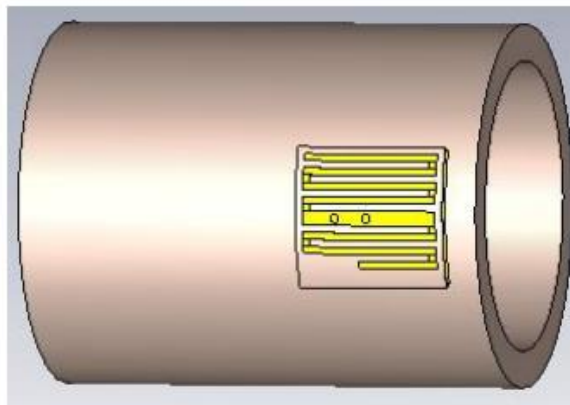
■ **Gambar 3.** Hasil desain antenna awal



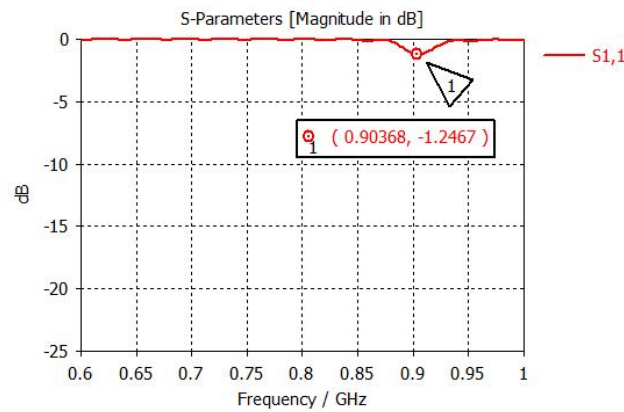
■ **Gambar 4.** Bentuk konformal



■ **Gambar 5.** Hasil S_{11} pada bentuk konformal



■ **Gambar 6.** PIFA meander dengan bahan tangan bionik



■ **Gambar 7.** Hasil S_{11} pada desain bahan tangan bionik

Tabel 3. Perbandingan Kinerja PIFA

Spesifikasi	Bentuk Datar	Bentuk Konformal	Tangan Bionik
Jangkauan frekuensi (GHz)	-	-	-
Frekuensi resonansi (MHz)	882,5 MHz	902,1 MHz	903,7 MHz
Bandwidth (MHz)	-	-	-
S_{11} (dB)	-1,1 dB	-1,7 dB	-1,3 dB

Hasil performansi antenna juga dapat dilihat pada tabel 3. Ketiga bentuk antenna tersebut tidak memenuhi spesifikasi, karena nilai S_{11} kurang dari -10 dB dan frekuensi resonansi tidak sebesar 922 MHz. Rentang frekuensi dan *bandwidth* tidak ditulis karena batas frekuensi atas dan bawah tidak memiliki nilai S_{11} kurang dari -10 dB.

c. Design Of Experiment

Pada bagian ini terlebih dahulu perlu ditentukan parameter-parameter yang menjadi faktor dan responnya. Parameter yang menjadi faktor akan menentukan besarnya perubahan ukuran dan parameter dalam respon menentukan hasil performansi antenna. Tidak semua parameter antenna dalam desain dapat mempengaruhi hasil atau respon kinerja antenna. Untuk menentukan parameter apa saja yang dapat berpengaruh, dapat dilakukan screening perubahan ukuran $\pm 5\%$ disetiap parameter yang ada. Dalam hal ini hanya parameter yang berpengaruh terhadap respon yang dipilih sebagai parameter faktor yaitu W_p , L_{p1} , G_x dan L_p . Sedangkan respon kinerja antenna adalah S_{11} dan frekuensi resonansi. Keempat faktor terpilih divariasikan dengan label +1 dan -1. Label +1 mewakili ukuran yang 5% lebih besar dari nilai nominal dan label -1 mewakili ukuran yang 5% lebih kecil dari nilai nominal. Tabel 4, menunjukkan besarnya variasi $\pm 5\%$ dari nilai nominal parameter faktor yang dipilih. Karena ada 4 faktor yang dipilih, maka hasil desain analisis eksperimen adalah $2^4 = 16$, seperti pada tabel 4. Dari tabel 5, dianalisis menggunakan Minitab dan dihasilkan diagram pohon seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Diagram pohon ini membantu menginformasikan seberapa sensitivitas faktor terhadap respon.

■ **Tabel 4.** Variasi Nilai $\pm 5\%$ untuk 2 variabel

Faktor	-1	+1
L_{p1}	10,45	11,55
G_x	1,9	2,1
W_p	0,76	0,84
L_p	15,2	16,8

■ **Tabel 5.** Hasil respon 4 faktor

No.	Faktor				Respon	
	Gx	Lp	Lp ₁	Lp	fr (GHz)	S ₁₁ (dB)
1.	1	-1	-1	-1	0,9696	-1,6457
2.	-1	-1	-1	-1	0,9672	-1,4700
3.	1	-1	-1	1	0,92865	-1,5066
4.	-1	-1	-1	1	0,92554	-1,3722
5.	1	-1	1	-1	0,96879	-1,7172
6.	-1	-1	1	-1	0,96773	-1,5211
7.	1	-1	1	1	0,92825	-1,5168
8.	-1	-1	1	1	0,92608	-1,3658
9.	1	1	-1	-1	0,88577	-1,3853
10.	-1	1	-1	-1	0,88536	-1,2573
11.	1	1	-1	1	0,84942	-1,2612
12.	-1	1	-1	1	0,84745	-1,1006
13.	1	1	1	-1	0,88721	-1,4396
14.	-1	1	1	-1	0,8856	-1,2527
15.	1	1	1	1	0,84817	-1,3119
16.	-1	1	1	1	0,93244	-0,0675

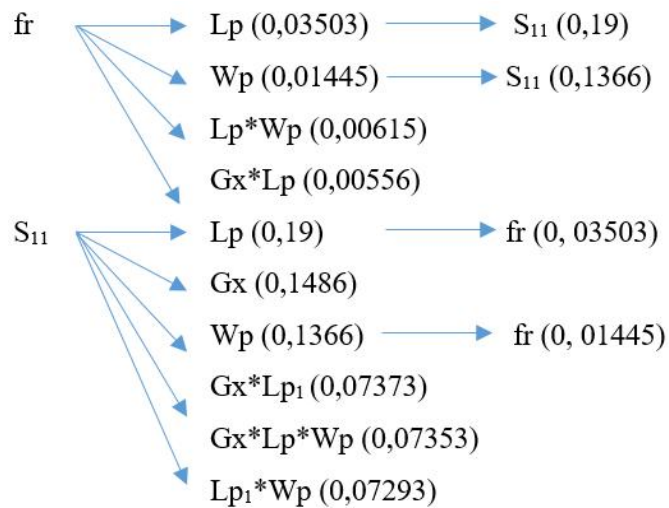
HASIL DAN DISKUSI

A. Proses *Tuning*

Proses tuning dilakukan dengan melakukan simulasi dengan ukuran yang berbeda pada parameter sesuai perhitungan. Dibutuhkan 6 langkah proses tuning untuk mendapatkan hasil performansi antenna yang mendekati spesifikasi, terlihat pada tabel 6. Langkah-langkah untuk menghitung proses tuning dijelaskan pada bagian ini.

■ **Tabel 6.** Proses *Tuning*

Faktor	T1 (mm)	T2 (mm)	T3 (mm)	T4 (mm)	T5 (mm)	T6 (mm)
Lp	15,582	15,582	15, 582	22,78	22,78	22,208
Lp ₁	11	11	11	11	11	11
Wp	0,8	0,8	0,8154	0,8154	0,7699	0,7699
Gx	2	4,5233	4,5233	4,5233	4,5233	4,5233



■ **Gambar 7.** Diagram pohon interaksi antar faktor

Contoh tuning 1. Pertama, pilih respon yang ingin diubah, misalnya frekuensi resonansi. Misalnya frekuensi resonansi 903.7 MHz, maka akan digeser menjadi 922 MHz. Jadi, temukan perbedaan antara target dan kondisi saat ini. Artinya, $922 - 903.7 \text{ MHz} = 18.3 \text{ MHz}$ atau 0.018 GHz . Kedua, lihat diagram pohon pada Gambar 8. Faktor yang paling signifikan untuk menggeser frekuensi adalah Lp dengan koefisien -0.03503 untuk setiap -5% perubahan panjang nominal. Ketiga, melakukan pembagian antara selisih dengan nilai sensitivitas pada diagram pohon. Artinya $(0.018) / (-0.03503) = -0.5224$ atau setara dengan -2.612% . Jika -2.612% dari 16 mm adalah -0.4179 mm . Kemudian Lp menjadi 15.582 mm .

Dalam perhitungan yaitu tuning 2, ubah ukuran Gx. Perhitungannya sama dengan *tuning* sebelumnya, hanya saja nilai sensitivitas yang dimasukkan bukan hanya parameter yang sedang diubah, tetapi juga parameter sebelumnya yang diubah. Kemudian, jumlahkan semua nilai sensitivitas. Perhitungan ini berlanjut hingga tuning 6. Berdasarkan tabel 6,

1. *Tuning 1*

Tuning 1 memperkecil ukuran Lp hingga 2.612% dari nilai nominal dapat menggeser fr ke frekuensi yang lebih rendah yaitu 922.8 MHz dengan nilai S_{11} sebesar 1.5 dB .

2. *Tuning 2*

Pada *tuning 2* memiliki target untuk menurunkan nilai S_{11} dengan meningkatkan ukuran Gx menjadi 126.166% dari nilai nominal dapat menurunkan nilai S_{11} menjadi -5.2 dB namun menggeser frekuensi resonansi menjadi 945.6 MHz . Hal ini membuktikan bahwa parameter faktor yang kita pilih untuk diubah dapat mempengaruhi respon lain selain respon yang diinginkan. Oleh karena itu, diperlukan ketelitian dan kehati-hatian dalam mengubah parameter parameter.

3. *Tuning 3*

Dalam *tuning 3* dilakukan untuk menggeser frekuensi resonansi. Wp dipilih sebagai parameter faktor yang ditingkatkan ukurannya hingga 1.9284% dapat menggeser frekuensi hingga 936.6 MHz dan nilai S_{11} tidak berubah. Pada diagram pohon Gambar 8, nilai sensitivitas yang dipilih adalah nilai sensitivitas Lp, Wp, $Lp*Wp$ dan $Gx*Lp$ terhadap respon fr.

4. *Tuning 4*

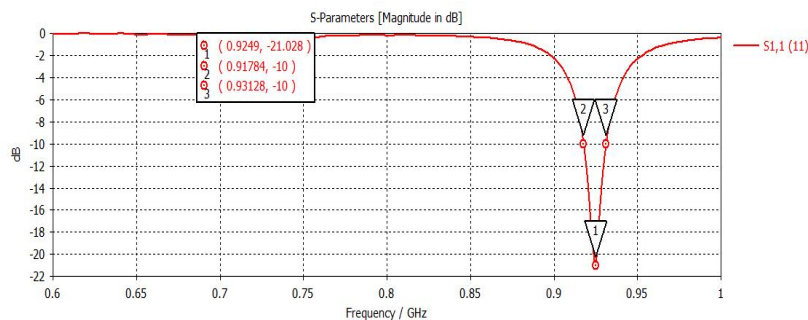
Dalam *tuning 4*, Lp dipilih sebagai parameter faktor yang diubah untuk mengurangi nilai S_{11} . Kenaikan Lp sebesar 46.192% dari nilai nominal. S_{11} yang dihasilkan adalah -16 dB dengan frekuensi resonansi 837.6 MHz . Karena S_{11} sudah menunjukkan nilai kurang dari -10 dB , *tuning 5* dan *6* berfokus pada pergeseran frekuensi resonansi. Nilai sensitivitas yang digunakan pada *tuning 4* adalah Lp untuk 2 kali dan Gx untuk respon S_{11} . Lp dimasukkan dua kali karena Lp diubah untuk kedua kalinya dalam *tuning* ini.

5. Tuning 5

Pada *tuning* 5, pengurangan ukuran Wp sebesar 5.5791% dari nilai nominal dapat menggeser frekuensi resonansi hingga 866.4 MHz dan nilai S_{11} -17.3 dB. Nilai sensitivitas yang digunakan adalah Lp, Wp dua kali, Lp*Wp, dan Gx*Lp terhadap respon fr. Sama dengan tuning 4, Wp dimasukkan untuk kedua kalinya karena pada tuning ini Wp diubah untuk kedua kalinya.

6. Tuning 6

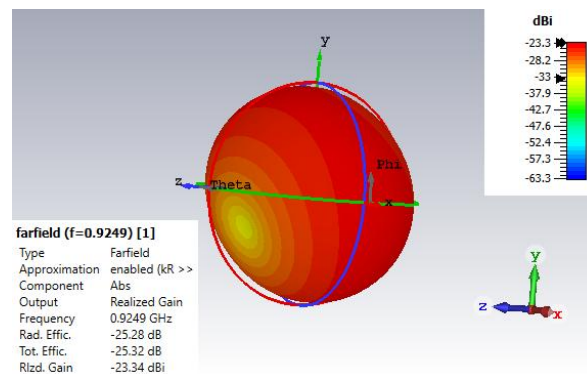
Pada *tuning* 6, pengurangan ukuran Lp sebesar 2.512% dari nilai nominal dapat menggeser frekuensi resonansi pada 924.9 MHz dengan nilai S_{11} sebesar -21 dB. Nilai sensitivitas yang digunakan pada tuning 6 yaitu Lp tiga kali, Wp dua kali, Lp*Wp dan Gx*Lp Hasil akhir dapat dilihat pada Gambar 9. Dari Gambar 9 nilai S_{11} dan frekuensi resonansi sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan . Kemudian *tuning* berhenti pada *tuning* 6.



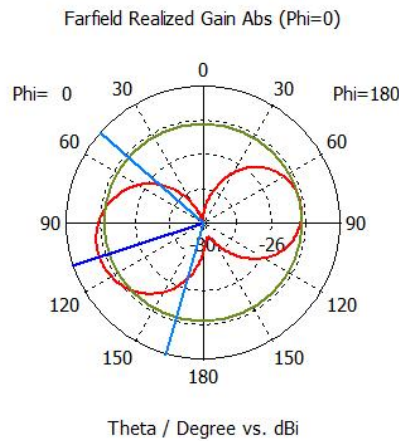
■ Gambar 9. Hasil akhir S_{11}

B. Gain dan Pola Radiasi

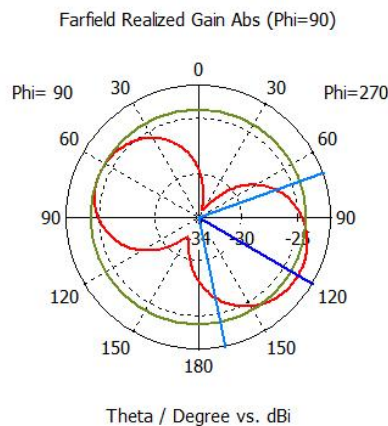
Gain dari antenna yang dirancang terutama berbasis total pada simulasi dibuktikan pada Gambar 10 sebesar -23.3 dBi. Sedangkan pola radiasi dibuktikan dari pola radiasi elevasi pada Gambar 11. dan pola radiasi azimuth pada Gambar 12. Kedua pola radiasi tersebut menyiratkan bahwa pola radiasi bersifat omnidirectional.



■ Gambar 10. Hasil simulasi *gain*



■ **Gambar 11.** Pola radiasi elevasi



■ **Gambar 12.** Pola Radiasi azimuth

C. Perbandingan antara antenna datar dan antenna konformal dengan bahan tangan bionik (dengan *tuning*)

Dari berbagai langkah yang telah dilakukan, mungkin dapat dibandingkan kinerja keseluruhan dari antenna datar dan antenna konformal dengan bahan tangan bionik (dengan sedikit *tuning*). Pada tabel 7, informasi rentang frekuensi dan *bandwidth* tidak disebutkan pada antenna datar karena nilai S_{11} pada frekuensi resonansi tidak kurang dari -10 dB. Dengan bentuk antenna konformal dan penambahan material bionik serta tuning dapat menggeser frekuensi resonansi hingga 42.4 MHz dan mereduksi S_{11} hingga -19.9 dB. Hasil antenna konformal dan penambahan tangan bionik dengan beberapa *tuning* menghasilkan kinerja yang lebih baik daripada antenna datar.

■ **Tabel 6.** Perbandingan antara antenna datar dan antenna konformal dengan bahan tangan bionik (dengan *tuning*)

Parameter	Spesifikasi	Datar	Konformal + Tangan Bionik (dengan <i>Tuning</i>)
Jangkauan frekuensi (MHz)	919 – 925	-	917.8 – 931.3
Frekuensi resonansi (MHz)	922	882,5	924.9
<i>Bandwidth</i> (MHz)	6 MHz	-	13.5
S_{11} (dB)	≤ -10	-1,1	- 21
<i>Gain</i> (dBi)	≥ -30	-40.9	-23.3
Pola Radiasi	Omnidirectional	Omni-directional	Omnidirectional

KESIMPULAN

Antena konformal dengan penambahan tangan bionik, yaitu silikon, membuktikan bahwa keduanya dapat menggeser frekuensi ke arah yang lebih tinggi. Dengan menggunakan metode DOE dan proses *tuning*, hanya dibutuhkan 6 kali perubahan untuk mendapatkan hasil sesuai spesifikasi. Tuning 1 menggeser frekuensi hingga 922.8 MHz dengan mengubah parameter L_p 2.612% dari ukuran nominal. Tuning 2 menggeser frekuensi hingga 945.6 MHz dengan meningkatkan ukuran G_x . Tuning 3 menggeser frekuensi hingga 936.6 MHz dengan mengubah ukuran W_p hingga 1.9284%. Tuning 4 menghasilkan nilai S_{11} hingga -16 dB dengan mnegubah parameter L_p . Tuning 5 menghasilkan nilai S_{11} hingga -17.3. Tuning 6 menghasilkan nilai S_{11} hingga -21 dB dan menggeser frekuensi sebesar 024.9 MHz. Frekuensi resonansi yang dihasilkan hanya berbeda 2.9 MHz dari spesifikasi, *bandwidth* yang dihasilkan lebih lebar 7.5 MHz dari spesifikasi. Dan nilai S_{11} sebesar -21 dB, gain sebesar -23.3 dBi dan pola radiasi bersifat omnidirectional. Hasil akhir semua parameter memenuhi spesifikasi.

ACKNOWLEDGMENT

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Diponegoro atas dukungan dana dalam Hibah Penelitian Strategis Fakultas tahun 2021.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Abidi, A. Jilbab, and E. H. Mohamed, "Wireless body area network for health monitoring," *J. Med. Eng. Technol.*, vol. 43, no. 2, pp. 124–132, 2019, doi: 10.1080/03091902.2019.1620354.
- [2] M. I. Ahmed and M. F. Ahmed, "A wearable flexible antenna integrated on a smart watch for 5g applications," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1447, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1447/1/012005.
- [3] Anjali and K. Amrit, "Performance analysis of patch and pifa antenna for wcs and sdr applications," *Int. J. Adv. Res. Comput. Commun. Eng.*, vol. 6, no. 7, pp. 265–269, 2017.
- [4] E. Pietrosemoli, "Wireless standards for iot: wifi, ble, sigfox, nb-iot and lora." International Centre for Theoretical Physics, 2017. [Online]. Available: http://wireless.ictp.it/school_2017/Slides/IoTWirelessStandards.pdf.
- [5] S. Al-Sarawi, M. Anbar, K. Alieyan, Alzubaidi, and Mahmood, "Internet of things (iot) communication protocols : review," *2017 8th Int. Conf. Inf. Technol.*, pp. 697–702, 2017.
- [6] L. J. Xu, Y. X. Guo, and W. Wu, "Miniaturized circularly polarized loop antenna for biomedical applications," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 63, no. 3, pp. 922–930, 2015, doi: 10.1109/TAP.2014.2387420.
- [7] A. Di Serio *et al.*, "Potential of sub-ghz wireless for future iot wearables and design of compact 915 mhz antenna," *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 1, pp. 1–25, 2018, doi: 10.3390/s18010022.
- [8] P. Soontornpipit, "Design and delevopment of a dual-band pifa antenna for brain interface applications," *2019 Int. Electr. Eng. Congr. (iEECON 2019)*, 2019.
- [9] F. Gozasht and A. S. Mohan, "Miniaturized slot pifa antenna for tripleband implantable biomedical applications," *IEEE MTT-S Int. Microw. Work. Ser. RF Wirel. Technol. Biomed. Healthc. Appl. IMWS-BIO 2013 - Proc.*, vol. 2, pp. 2–4, 2013.
- [10] H. Sajjad, W. T. Sethi, S. Khan, and L. Jan, "Compact dual-band implantable antenna for e-health monitoring," *Int. Symp. Wirel. Syst. Networks, ISWSN*, pp. 1–4, 2017.
- [11] J. Shang, Y. Yu, and L. J. Xu, "Compact bual-band implantable planar inverted-f antenna with bandwidth enhancement," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, 2019.
- [12] M. Leeban Moses, C. Raju, and A. R. Nair, "Detection of skin cancer using pifa antenna," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 764, no. 1, 2020.
- [13] T. Prakoso, I. A. Utami, I. Santoso, M. A. Riyadi, and M. Facta, "Systematic tuning of coupled-line filter using doe method," *Proc. - 2018 3rd Int. Conf. Inf. Technol. Inf. Syst. Electr. Eng. ICITISEE 2018*, vol. 21, no. ii, pp. 391–395, 2018, doi: 10.1109/ICITISEE.2018.8720981.
- [14] L. Y. Sabila, T. Prakoso, and M. A. Riyadi, "Design of 2.4 ghz-band meander planar inverted f antenna for bionic hand using doe method," pp. 1–6, 2021, doi: 10.1109/ised53023.2021.9501861.

- [15] P. Lopez, D. Fernandez, A. J. Jara, and A. F. Skarmeta, "Survey of internet of things technologies for clinical environments," *Proc. - 27th Int. Conf. Adv. Inf. Netw. Appl. Work. WAINA*, pp. 1349–1354, 2013.
- [16] S. Y. Jun, A. Elibiary, B. Sanz-Izquierdo, L. Winchester, D. Bird, and A. McClelland, "3D printing of conformal antennas for diversity wrist worn applications," *IEEE Trans. Components, Packag. Manuf. Technol.*, vol. 8, no. 12, pp. 2227–2235, 2018.
- [17] P. Chopra, M. Bhandari, K. S. Beenamole, and S. Saxena, "Design of an x-band conformal antenna using microstrip patches," *2nd Int. Conf. Signal Process. Integr. Networks, SPIN 2015*, pp. 83–87, 2015, doi: 10.1109/SPIN.2015.7095393.
- [18] M. M. Miran and F. Arifin, "Design and performance analysis of a miniaturized implantable pifa for wireless body area network applications," *1st Int. Conf. Robot. Electr. Signal Process. Tech. ICREST*, pp. 253–257, 2019.
- [19] I. Gil and R. Fernández-García, "Flexible pifa antenna design for wireless sensor networks in wearable healthcare applications," *Prog. Electromagn. Res. Symp.*, pp. 1017–1019, 2015.
- [20] S. Rana, A. Thakur, H. S. Saini, R. Kumar, and N. Kumar, "A wideband planar inverted f antenna for wireless communication devices," *Proc. - Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Autom.*, pp. 1–3, 2016.