



# Perancangan Antena *Ultra Wideband* Dengan Metode *Coplanar Waveguide* dan *Matching Stub* Untuk Aplikasi *Wireless Body Area Network*

Dian Rusdiyanto<sup>1\*</sup>, Dian Widi Astuti<sup>2</sup>, Catur Apriono<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>*Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana,  
Jl. Meruya Selatan, Jakarta 11650, Indonesia*

<sup>3</sup>*Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia  
Pondok Cina, Beji, Depok, Jawa Barat 16424  
dian.rusdiyanto@mercubuana.ac.id*

## **Abstrak :**

Penggunaan teknologi pada ranah kesehatan berkembang pesat. Diantaranya yang cukup populer adalah *Wireless Body Area Network* (WBAN). WBAN merupakan teknologi yang menawarkan akses informasi pada tubuh dan perangkat kesehatan secara nirkabel. Salah satu perangkat untuk mendukung teknologi nirkabel adalah antena. Penelitian ini fokus pada perancangan antena untuk aplikasi WBAN. Antena dirancang menggunakan metode *coplanar waveguide* (CPW) dan *matching stub*. Metode ini berguna untuk mencapai *bandwidth* yang sangat lebar (*ultra wideband*) dan dapat melakukan *tuning* pada frekuensi kerja yang akan dicapai. Hasil simulasi menunjukkan antena mempunyai *bandwidth* sebesar 17,8 GHz pada rentang frekuensi 2,953 GHz – 20,761 GHz dan gain maksimal 6,09 dBi. Simulasi antena juga dilakukan dengan menempatkan antena di atas material tekstil seperti jeans dan katun. Posisi antena di atas jeans mempunyai peningkatan gain simulasi sebesar 9,85% dan lebar *bandwidth* bertambah 1 GHz dibanding hasil tanpa material. Sedangkan dengan material katun, nilai *bandwidth* juga bertambah namun gain simulasi mengalami sedikit penurunan. Walaupun demikian, dengan menggunakan kedua material tekstil tersebut tidak mempengaruhi performa antena karena masih berada pada frekuensi resonan WBAN yaitu 3,1 GHz – 10,6 GHz. Dengan demikian perancangan antena ini telah sesuai dengan spesifikasi WBAN sedangkan metode CPW dan *stub* mampu menghasilkan frekuensi *ultra wideband*.

*This is an open access article under the [CC BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license*



## **Kata Kunci:**

WBAN;  
CPW;  
*stub*;  
*ultra wideband*;

## **Riwayat Artikel:**

Diserahkan 31 Juli, 2023  
Direvisi 4 Juli, 2024  
Diterima 25 Juli, 2024

## **DOI:**

10.22441/incomtech.v14i2.21965

## PENDAHULUAN

*Wireless Body Area Network* (WBAN) atau yang dikenal dengan jaringan area tubuh nirkabel merupakan suatu sistem yang digunakan untuk mendeteksi kesehatan melalui perangkat baik yang terletak pada pakaian, menempel di tubuh atau berada di dalam kulit suatu objek hidup. Sistem yang ada pada area tubuh tersebut mengirimkan informasi secara nirkabel kemudian diolah dalam bentuk citra dan memberikan informasi dari aspek-aspek yang terdapat pada tubuh. Sistem ini terdiri dari perangkat-perangkat *wireless* seperti sensor, aktuator, antena, dan perangkat elektronik lainnya [1]. Karena menggunakan sistem nirkabel, aplikasi yang digunakan dalam sistem WBAN ini cukup fleksibel pada beberapa fungsi kesehatan seperti saat berolahraga, multimedia dan penggunaan yang memerlukan ruang gerak yang bebas [2].

Penelitian ini fokus pada salah satu *device* yang digunakan pada aplikasi WBAN, yaitu antena. Antena berperan penting dalam teknologi nirkabel karena berpengaruh terhadap proses pengiriman dan penerimaan data. Antena mempengaruhi jangkauan atau jarak objek dari sistem, serta menentukan batas-batas frekuensi tertentu yang dapat diterima. Pemodelan antena untuk aplikasi WBAN banyak menggunakan antena mikrostrip karena bentuknya yang minimalis, murah dan mudah dipabrikasi [3]. WBAN bekerja pada beberapa frekuensi, salah satunya pada rentang 3,1 GHz sampai 10,6 GHz atau yang disebut area ultraband [4].

Beberapa penelitian yang merancang antena mikrostrip untuk aplikasi WBAN telah dilakukan dengan beberapa pengembangan, baik pada sisi metode atau rentang frekuensinya. Seperti yang dilakukan oleh [5] yang merancang antena WBAN pada frekuensi 2,4 GHz dan 5,8 GHz dengan metode *coplanar waveguide* (CPW) dengan bentuk *patch* seperti huruf T dan penggunaan elemen parasitik. Hasil simulasi menunjukkan nilai koefisien refleksi dan pola radiasi yang sesuai. Penelitian [6] juga menggunakan metode CPW pada frekuensi 2,4 GHz. Gain yang dihasilkan pada penelitian ini sebesar 3,2 dBi, namun antena ini hanya beroperasi pada *single band frequency*. Untuk penelitian yang mempunyai target UWB dilakukan oleh [7] dengan teknik *patch* yang berbentuk lingkaran dan penambahan tambalan cincin melingkar yang terhubung dengan *ground*. Penelitian ini memiliki *bandwidth* yang besar mencapai 8,6 GHz.

Penelitian ini mengajukan perancangan antena mikrostrip UWB dengan metode *coplanar waveguide* dan penambahan *stub* sebagai *matching impedansi* [8] Pada penelitian sebelumnya, penulis telah melakukan metode ini yang terbukti mampu menghasilkan *bandwidth* yang lebar dan multiband frekuensi [9]. Untuk aplikasi ultra wideband pada metode *coplanar waveguide* telah berhasil dilakukan oleh [10] dengan bentuk dasar *patch* persegi dan penambahan E-Slot. Penelitian ini menghasilkan *dual band* frekuensi pada rentang 2 GHz - 5 GHz dan 6 GHz - 10 GHz. Metode Sierpinski Fractal dengan CPW juga telah membawa desain antena menuju UWB seperti yang dilakukan oleh [11]. Antena tersebut menghasilkan *bandwidth* kurang lebih 12 GHz. Pada bagian *matching* antena di parameter  $S_{11}$ , ada beberapa metode yang bisa digunakan seperti penggunaan *stub* pada *patch*,

penambahan sisipan pada *feeding line*, modifikasi *ground* dan lainnya [12]. Penggunaan *stub* menjadi pilihan utama dalam penelitian ini karena kemudahan dalam proses optimasi dan dapat dialokasikan dengan mudah pada *patch* atau *ground* antenna [13]. Beberapa penelitian tersebut menjadi pemilihan metode CPW dalam mencapai antenna *bandwidth* yang sangat lebar

## 2. DESAIN DAN SIMULASI

Desain antenna dimulai dengan perancangan *patch* berbentuk lingkaran dengan jari-jari  $r$  dan di bawahnya terdapat substrat berbentuk persegi panjang dengan panjang  $L$  dan lebar  $W$ . Material antenna menggunakan substrat Epoxy FR-4 dengan karakteristik konstanta dielektrik  $\epsilon_r$  sebesar 4,6, ketebalan  $h$  bernilai 1,6 mm dan dielektrik *loss tangen* sebesar 0,0265. Elemen peradiasi (*patch*) dan *ground* menggunakan material tembaga yang memiliki ketebalan 0,035 mm dengan permitivitas 1 dan permeabilitas 0,9999.

Berdasarkan spesifikasi material yang telah ditentukan, maka formula untuk mencari jari-jari *patch* lingkaran adalah sebagai berikut [3]:

$$r = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi\epsilon_r F} \left[\ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right) + 1.7726\right]\right\}^{1/2}}$$

Dimana

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}}$$

dan

$$(f_{rc})_{110} = \frac{1.8412v_0}{2\pi a_e \sqrt{\epsilon_r}}$$

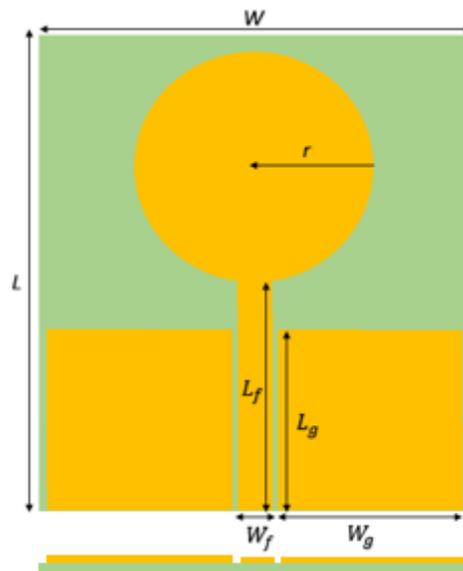
$$r_e = \frac{8.791 \times 10^9}{f_{rc} \sqrt{\epsilon_r}}$$

$r_e$  adalah radius efektif yang digunakan sebagai acuan awal dalam penentuan frekuensi resonan. Frekuensi UWB aplikasi WBAN berada pada rentang 3,1 GHz sampai 10,6 GHz, maka dengan menggunakan formula di atas, besar minimum dan maksimum radius yang bisa dicapai adalah 3,9 mm sampai 13,1 mm. Penelitian ini mengambil frekuensi rendah sebagai acuan, karena frekuensi tinggi lebih mudah untuk dicapai lewat modifikasi *patch* dan desain antenna. Selain itu, biasanya semakin rendah frekuensi maka semakin kecil gain yang didapat, maka dengan menentukan fokus pada frekuensi rendah dapat membantu memaksimalkan performa antenna pada frekuensi rendah.

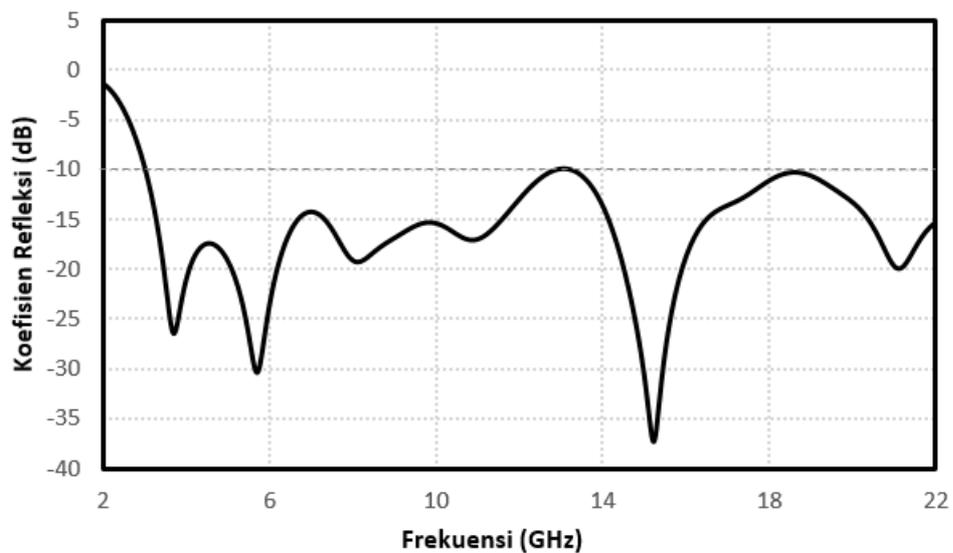
Tabel 1 menunjukkan hasil optimasi desain awal antenna dimana nilai radius hasil optimasi yang digunakan adalah 10 mm dan dimensi substrat 34 mm x 30 mm. Geometri antenna desain awal dapat dilihat pada Gambar 1 yang menunjukkan tampilan depan pada bidang  $z$  dan  $x$ .

Tabel 1. Parameter Antena

Parameter	Nilai (mm)
$W$	30
$L$	34
$r$	10
$W_f$	1,6
$L_f$	18,5
$W_g$	13,1
$L_g$	12
$gap$	0.35



Gambar 1. Geometri Desain 1



Gambar 2. Nilai koefisien refleksi Desain 1

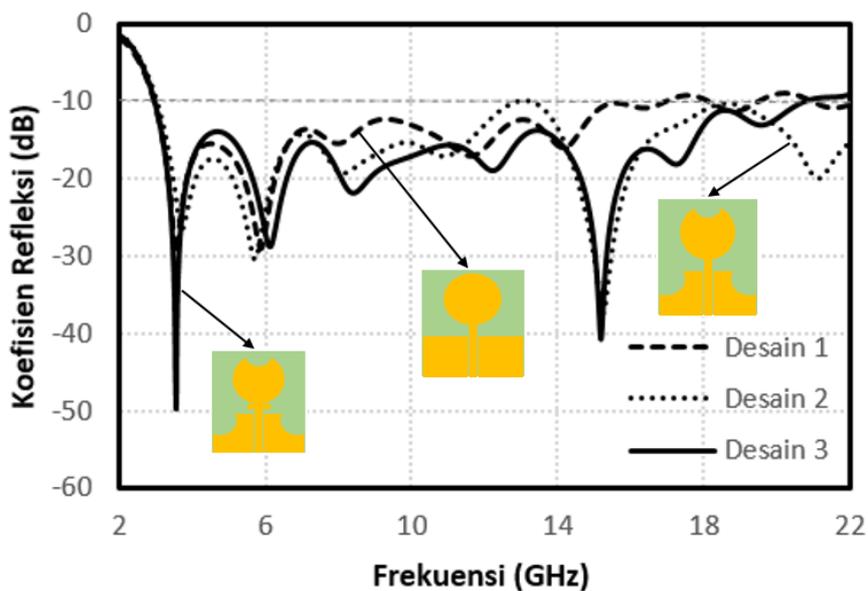
Gambar 2 menunjukkan hasil simulasi optimasi koefisien refleksi Desain 1 (perancangan awal) dimana pada batas -10 dB mempunyai nilai *bandwidth* sebesar

9,87 GHz pada rentang frekuensi 3,02 GHz sampai 12,89 GHz. Selain itu, pada frekuensi 13,26 GHz ke atas, nilai koefisien refleksi masih bernilai di bawah -10 dB, sehingga *bandwidth* yang dihasilkan dapat semakin membesar. Desain antenna 1 menjadi ajuan dalam pengembangan model selanjutnya untuk mendapatkan nilai koefisien refleksi maksimal pada tiap-tiap frekuensi di rentang 3,1 GHz sampai 10,6 GHz. Gambar 3 menunjukkan perbandingan geometri masing-masing desain antenna, dimana Desain 2 merupakan modifikasi Desain 1 yang terletak pada pemotongan bidang *ground* dalam bentuk seperti seperempat lingkaran dipusatkan pada titik sudut atas yang mengarah ke luar. Pada bagian *patch* juga dilakukan pemotongan pada bagian atas dengan model setengah lingkaran yang diambil pada titik fokus substrat bagian atas.



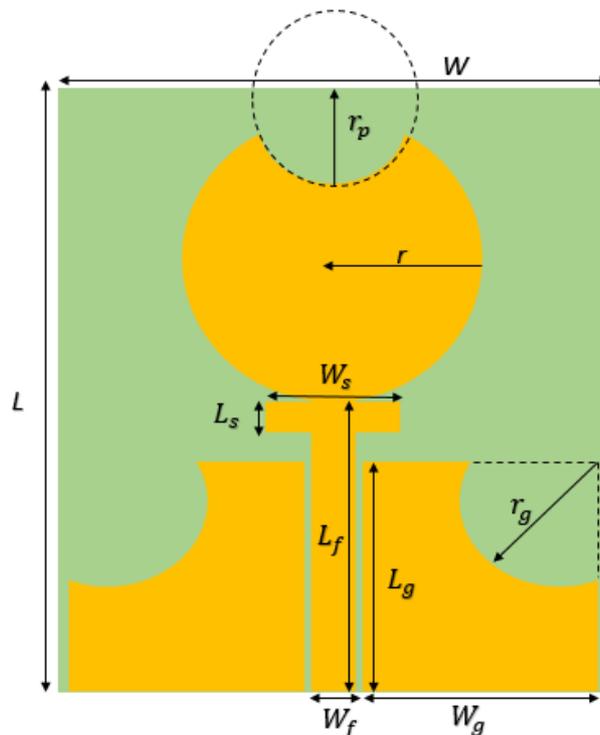
Gambar 3. Perbandingan Geometri Antena

Untuk memaksimalkan hasil perancangan, dilakukan penambahan *stub* di bawah *patch* lingkaran yang terlihat pada Desain 3. Desain 3 merupakan model yang mengoptimasi beberapa parameter seperti pemotongan bidang *ground*, panjang *ground*, variabel *stub* dan *patch*. Perbandingan nilai  $S_{11}$  (koefisien refleksi) pada masing-masing desain dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan  $S_{11}$  masing-masing desain

Gambar 4 menampilkan hasil simulasi nilai  $S_{11}$  dari masing-masing desain dimana Desain 3 mempunyai nilai  $S_{11}$  yang lebih baik dibanding kedua desain lainnya. Hasil simulasi  $S_{11}$  Desain 3 menunjukkan rentang frekuensi yang mempunyai koefisien refleksi di bawah 10 dB yang cukup stabil dengan kedalaman frekuensi berada pada tiga frekuensi utama diantaranya 3,54 GHz (-49,6 dB), 6,1 GHz (-28,83 dB) dan 15,18 GHz (-40,82 dB). Kemudian koefisien refleksi mulai lebih dari -10 dB saat berada pada frekuensi 20,78 GHz. Karena fokus perancangan ini pada rentang 3,1 GHz – 10,6 GHz, maka pengamatan hanya dilakukan pada rentang frekuensi tersebut. Desain 1 dan 2 mempunyai keunggulan pada rentang frekuensi 4 GHz – 6 GHz, dimana nilai koefisiennya lebih baik dibanding Desain 3. Walaupun demikian, Desain 3 mendominasi nilai  $S_{11}$  yang lebih baik pada rentang 6,1 GHz sampai 10,6 GHz. Lebih lagi kedalaman  $S_{11}$  di beberapa titik frekuensi, Desain 3 mempunyai hasil yang lebih baik. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan Desain 3 memiliki nilai optimasi yang lebih baik. Dimensi yang lebih spesifik dari Desain 3 dapat dilihat pada Gambar 5, sedangkan nilai optimasi dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 5. Parameter dimensi Desain 3

Table 2. Hasil optimasi parameter Desain 3

Parameter	Nilai (mm)
$W$	30
$L$	34
$r$	10
$W_f$	1,6
$L_f$	18,5
$W_g$	13,1
$L_g$	12
$gap$	0.35

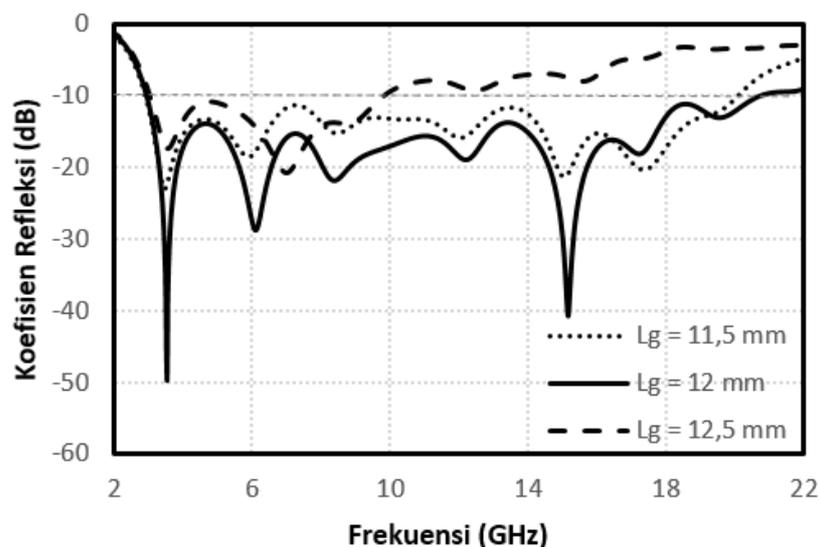
$r_g$	4
$r_p$	6
$W_s$	5
$L_s$	0,6

### 3. ANALISIS NUMERIK PARAMETER DAN MATERIAL TEKSTIL

Pada bagian ini pembahasan terhadap perubahan nilai parameter dan pengaruhnya ditampilkan secara spesifik, terutama pengaruh *stub* pada nilai koefisien refleksi. Selanjutnya, hasil optimum dari desain yang digunakan dikombinasikan dengan peletakan antena di atas material tekstil seperti bahan jeans dan katun. Pengaruh material terhadap antena diamati dari nilai  $S_{11}$  dan gain yang dihasilkan. Hasil tersebut kemudian dianalisis dalam bentuk tabel sebagai perbandingan performa dari desain antena yang telah dirancang.

#### A. Metode Numerik Terhadap Parameter

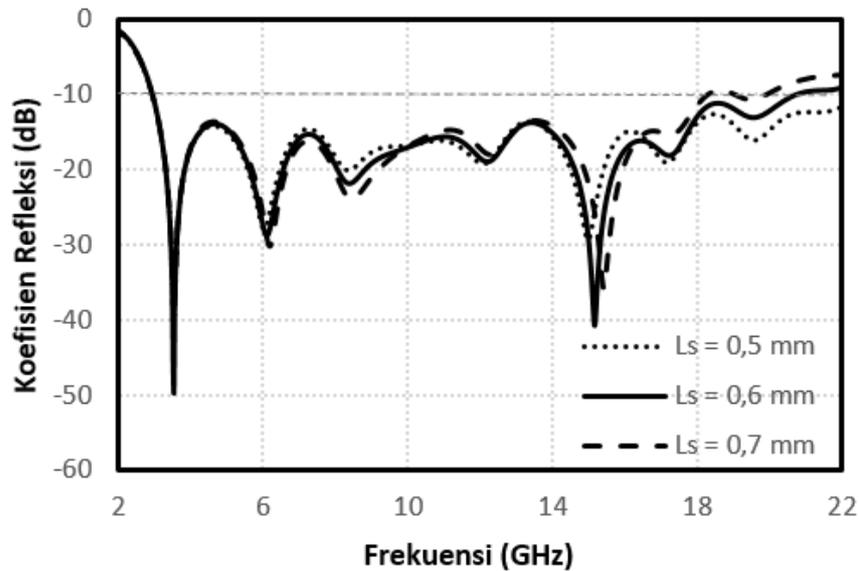
Pengujian performa antena dilakukan dengan metode optimasi dimana setiap dimensi dari beberapa variabel diubah nilainya secara berurutan untuk mengetahui performa yang optimal. Parameter yang diuji salah satunya  $L_g$ .  $L_g$  merupakan panjang *ground* dan menjadi bagian yang berpengaruh terhadap kedalaman koefisien refleksi, dimana nilai  $L_g$  yang paling optimal terdapat pada nilai 12 mm. Sedangkan perubahan nilai  $L_g$  dalam nilai yang lebih besar dan lebih kecil membuat nilai koefisien pada rentang frekuensi semakin membesar, seperti yang terlihat pada gambar 6. Optimasi juga dilakukan dengan parameter  $W_g$ , namun dengan rentang perubahan yang kecil tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai koefisien refleksi. Dengan nilai  $W_g$  sebesar 13,1 mm dianggap cukup untuk mendapatkan performa yang baik.



Gambar 6. Optimasi  $S_{11}$  parameter  $L_g$

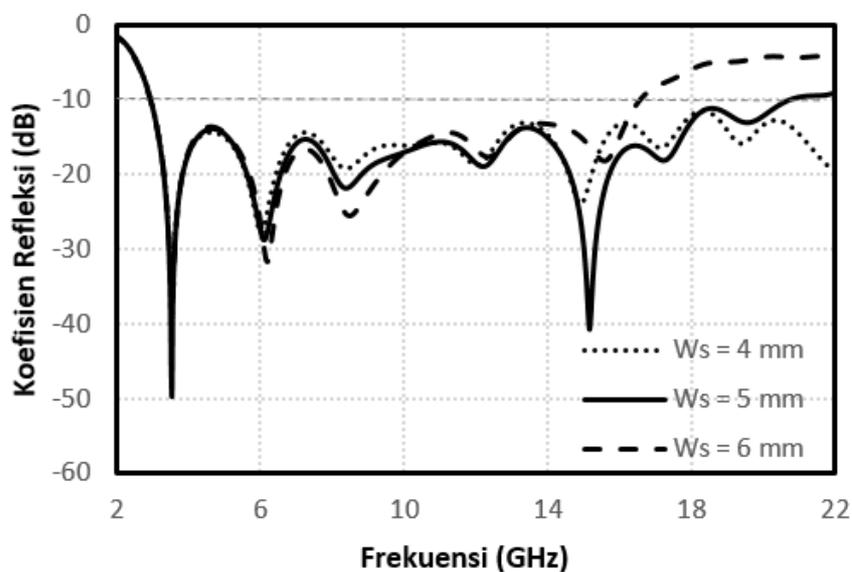
Parameter lain yang menjadi fokus utama adalah  $L_s$  dan  $W_s$  dimana kedua parameter tersebut merupakan parameter *stub*. *Stub* berpengaruh terhadap lebar

*bandwidth* dan kedalaman koefisien refleksi. Seperti yang ditampilkan pada Gambar 7, semakin besar nilai  $L_s$  maka *bandwidth* yang dihasilkan semakin kecil, begitu pula sebaliknya. Dengan fokus pada frekuensi WBAN, maka yang dicari adalah nilai koefisien refleksi optimal pada rentang frekuensi tersebut. Nilai  $L_s$  optimum pada desain ini diperoleh sebesar 0,6 mm.



Gambar 7. Optimasi  $S_{11}$  parameter  $L_s$

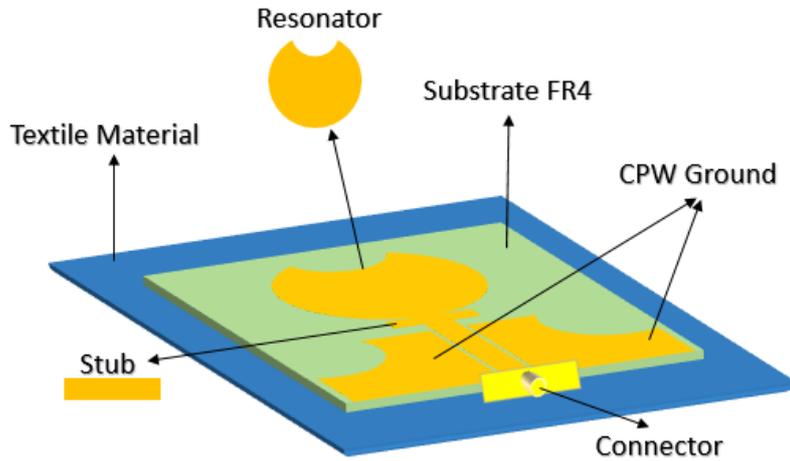
Selanjutnya iterasi dilakukan pada parameter  $W_s$ . Sama seperti parameter  $L_s$ , parameter  $W_s$  berpengaruh terhadap *bandwidth* antenna. Ketika nilai  $W_s$  ditkecilkan 1 mm dari nilai optimal, maka *bandwidth* semakin membesar dan nilai koefisien refleksinya sebagian besar juga meningkat di beberapa frekuensi. Sedangkan ketika nilai  $W_s$  diperbesar, hasilnya *bandwidth* antenna semakin mengecil diiringi kenaikan nilai koefisien refleksi, seperti yang terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Optimasi  $S_{11}$  parameter  $W_s$

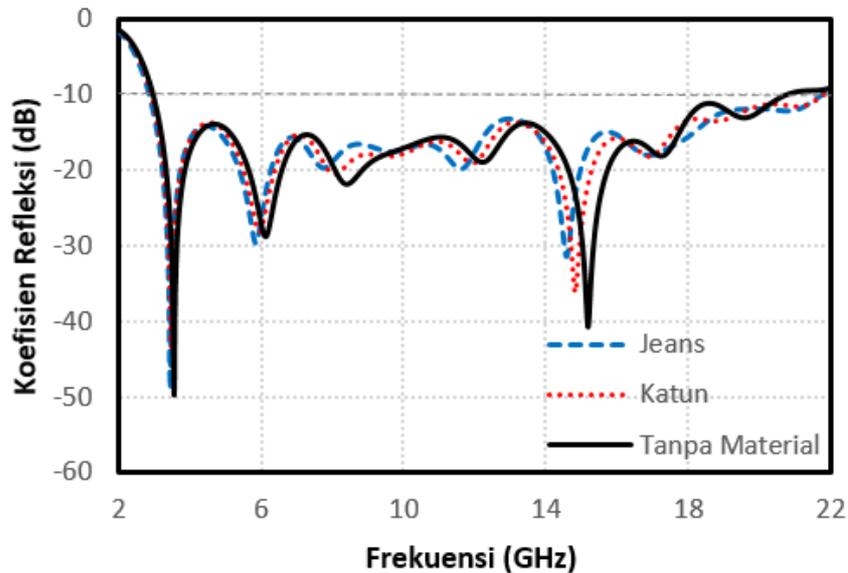
**B. Simulasi Dengan Material Tekstil**

Simulasi desain antena yang disematkan di atas material tekstil juga diuji pada penelitian ini. Material yang disimulasikan berupa jeans dan katun. Pada konsep WBAN untuk jenis *on-body*, antena menempel pada tubuh manusia dengan perantara kain/bahan. Untuk itu antena disimulasikan dengan posisi di atas material yang memiliki spesifikasi tertentu, seperti yang terlihat pada Gambar 9.



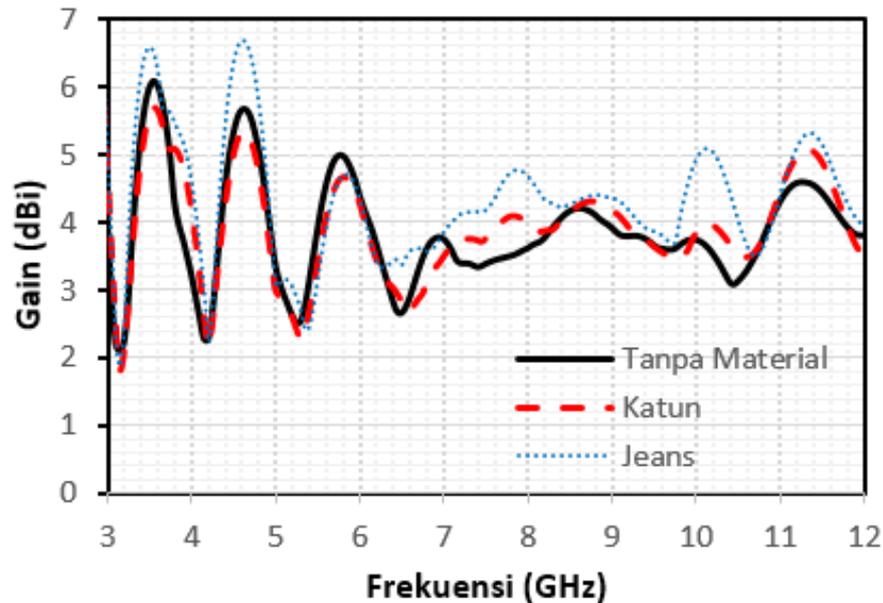
Gambar 9. Gemoteri antena di atas material tekstil

Spesifikasi material katun dalam simulasi ini mempunyai relative permittivity  $\epsilon_r$  sebesar 1,7 dengan ketebalam 0,9 mm, seperti yang disimulasikan oleh [14]. Untuk material jeans yang digunakan mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh [15] yang menggunakan ketebalan jeans sebesar 2,5 mm dan nilai  $\epsilon_r$  sebesar 1,68. Gambar 10 menunjukkan perbandingan koefisien refleksi dalam tiga kondisi, yaitu tanpa material tekstil, dengan jeans dan katun.



Gambar 10. Perbandingan  $S_{11}$  antena pada material tekstil

Nilai koefisien refleksi pada Gambar 10 tidak mengalami perubahan yang signifikan karena area kerja frekuensi WBAN masih menjadi resonan. Walaupun demikian, nilai koefisien refleksi di beberapa titik frekuensi mengalami perubahan.



Gambar 11. Perbandingan Gain antenna pada material tekstil

Selain parameter  $S_{11}$ , perbandingan dilakukan pada nilai gain antenna seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Pada Gambar 11, antenna dengan material jeans mengalami peningkatan jika dibanding dengan kondisi tanpa material jeans atau dengan material katun. Dengan material jeans gain meningkat di beberapa frekuensi, kecuali pada frekuensi 4,2 GHz sampai 6,3 GHz. Di sisi lain, material katun memiliki gain yang lebih rendah jika dibandingkan dengan kondisi tanpa material, khususnya pada frekuensi 3,1 GHz sampai 7 GHz. Di atas frekuensi 7 GHz, material katun mulai mengalami peningkatan gain.

### C. Analisa Hasil

Simulasi antenna dengan pendekatan metode numerik dari parameter dimensi menunjukkan perubahan yang signifikan dimana setiap parameter berpengaruh terhadap area frekuensi kerja (*bandwidth*) dan kedalaman koefisien refleksi. Dengan fokus pada frekuensi WBAN, maka secara realistis proses iterasi mengacu pada nilai koefisien refleksi optimum yang dihasilkan sepanjang rentang frekuensi. Penggunaan *stub* baik panjang atau lebar dimensinya memiliki pengaruh besar karena secara geometri *stub* menempel pada *patch* antenna atau tepat di bawah *patch* lingkaran. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa penggunaan *stub* sudah terbukti mempengaruhi frekuensi resonan (Plessis, 1994). Selain itu panjang *ground* yang diterasi secara bersamaan pada sisi kanan dan kiri menyebabkan perubahan pada nilai  $S_{11}$ . Perbandingan hasil penelitian dengan yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 3. Tabel 3 menunjukkan, penelitian ini memiliki *bandwidth* yang lebar yang mencapai 17,8 GHz dan nilai koefisien refleksi optimum didapat -49,6dB.

Tabel 3. Tabel perbandingan penelitian

Referensi	Metode	Frekuensi Resonansi (MHz)	<i>Bandwidth</i> (MHz)	Koefisien Refleksi Optimum (dB)	Gain (dBi)
[4]	CPW dan asymmetric slot	2500 – 10970	8470	-33	3 - 5
[5]	CPW dan parasitic patch	2400 – 2485 5725 - 5875	85 150	-22 -26	3,09 0,6
[6]	CPW dan rectangular slot	2100 - 3400	2300	-30	3.2
[7]	Mono cone dan ring patch	2800 - 11400	8600	-27	2,2 – 4,4
[10]	CPW	5000 – 10600	5600	-28	-5 - 20
[11]	CPW dan planar fractal	2860 - 14360	11500	-35	0,5 – 5,8
Penelitian ini	CPW dan <i>Stub</i>	2953-20761	17808	-49,6	6,09

Pengamatan terhadap peletakan antena di atas material tekstil jelas mempengaruhi performa antena terutama pada gain antena. Antena saat diletakan di atas material jeans mengalami peningkatan gain hampir di sebagian besar frekuensi. Sedangkan pada material katun, terjadi penurunan gain antena disepanjang frekuensi resonan. Walaupun demikian, performa antena di atas kedua material ini masih menunjukkan performa yang baik. Secara spesifik hasil simulasi ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan simulasi pada material

Antena	<i>Bandwidth</i> (GHz)	Koefisien Refleksi Optimum (dB)	Gain Terendah (dBi)	Gain Tertinggi (dBi)
Tanpa Material	17,8	-49,6	2,11	6,09
Jeans	18,88	-48,8	1,83	6,69
Katun	18,87	-43,8	1,88	5,7

#### 4. KESIMPULAN

Perancangan antena mikrostrip menggunakan metode *coplanar waveguide* dan *matching stub* telah menghasilkan performa yang sesuai pada aplikasi WBAN. Antena ini dirancang menggunakan *patch* lingkaran dengan pemotongan di bagian atasnya dan *ground* yang berbentuk segiempat dengan pemotongan seperempat lingkaran pada tiap sudut atas terluar. Penggunaan *stub* pada antena terbukti berguna sebagai *matching* nilai koefisien refleksi dan mempengaruhi rentang frekuensi kerja. Simulasi antena terhadap material dilakukan dengan dua jenis material tekstil seperti jeans dan katun. Hasil simulasi  $S_{11}$  antena di atas jeans meningkatkan nilai *bandwidth* dan gain di beberapa titik frekuensi dimana gain tertinggi yang dihasilkan sebesar 6,69 dBi dengan *bandwidth* sebesar 17,8 dB. Sedangkan pada material katun sedikit mengalami penurunan gain di beberapa titik frekuensi, namun *bandwidth* yang dihasilkan lebih besar. Jadi dapat disimpulkan,

perancangan antenna yang diajukan telah memenuhi kriteria antenna WBAN walaupun diletakan di atas material tekstil.

## REFERENSI

- [1] Carlos A. Tavera, Jesús H. Ortiz, Osamah I. Khalaf, Diego F. Saavedra, Theyazn H. H. Aldhyani. (2021), "Wearable Wireless Body Area Networks for Medical Applications", Computational and Mathematical Methods in Medicine, vol. 2021, Article ID 5574376, 9 pages. <https://doi.org/10.1155/2021/5574376>
- [2] Hasan Khalid, Biswas Kamanashis, Ahmed Khandakar, Nafi Nazmus S., Islam Md Saiful. (2019), A comprehensive review of wireless body area network J. Netw. Comput. Appl., 143, pp. 178-198
- [3] C.A. Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design", Third Edition, 2005.
- [4] Jayakumar, S., Mohanbabu, G (2022). A wearable low profile asymmetrical slotted ultra-wide band antenna for WBAN applications. J Wireless Com Network 2022, 103
- [5] J. Tak, S. Woo, J. Kwon and J. Choi. (2016), "Dual-Band Dual-Mode *Patch* Antenna for On-/Off-Body WBAN Communications," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 15, pp. 348-351, doi: 10.1109/LAWP.2015.2444881.
- [6] A. Gharaati, A. Goudarzi and R. Mirzavand. (2021), "Compact Circularly Polarized Wideband Wearable Slot Antenna for WBAN/WLAN Applications," 2021 15th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Dusseldorf, Germany, pp. 1-3, doi: 10.23919/EuCAP51087.2021.9410926.
- [7] W. Jeong, J. Tak and J. Choi. (2015), "A Low-Profile IR-UWB Antenna With Ring *Patch* for WBAN Applications," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 14, pp. 1447-1450, doi: 10.1109/LAWP.2015.2411263.
- [8] D. Rusdiyanto and F. Y. Zulkifli. (2019), "Antenna Integrated with Low Noise Amplifier Operating at L1 GPS Application," 2019 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), Singapore, Singapore, pp. 1280-1282, doi: 10.1109/APMC46564.2019.9038337
- [9] D. Rusdiyanto and F. Y. Zulkifli. (2019), "Dual Band Circularly Polarized Microstrip Antenna Fed By Inverted-L Shaped With A *Stub* for GPS And WLAN Application," 2019 11th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), Pattaya, Thailand, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICITEED.2019.8930001.
- [10] S. S. Nagre and A. S. Shirsat., (2016) "Design of compact CPW-Fed printed monopole UWB antenna for band notched applications," 2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT), Pune, India, pp. 394-397, doi: 10.1109/ICACDOT.2016.7877615.
- [11] Y. B. Chaouche, I. Messaoudene, M. Nedil and F. Bouttout. (2018), "CPW-Fed Hexagonal Modified Sierpinski Carpet Fractal Antenna for UWB Applications," 2018 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, Boston, MA, USA, pp. 1045-1046, doi: 10.1109/APUSNCURSINRSM.2018.8608513.
- [12] Y. F. Weng, W. J. Lu, S. W. Cheung and T. I. Yuk. (2009), "UWB antenna with single or dual band-notched characteristic for WLAN band using meandered *ground stubs*," 2009 Loughborough Antennas & Propagation Conference, Loughborough, UK, pp. 757-760, doi: 10.1109/LAPC.2009.5352396.
- [13] T. Archevapanich (2010), "Design of CPW wide slot antenna with tuning *stub* for wideband applications," ICCAS 2010, Gyeonggi-do, Korea (South), pp. 2198-2201, doi: 10.1109/ICCAS.2010.5669854.
- [14] Ayd R. Saad, A., Hassan, W.M. & Ibrahim, A.A. A monopole antenna with cotton fabric material for wearable applications. Sci Rep 13, 7315 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34394-3>
- [15] S. Shekhawat , S. K. Singh , S. Singh and A. Tripathi , "Electromagnetic Band Gap Based Via-less Jeans *Patch* Antenna for 5.5GHz WiMAX Application", Gazi University Journal of Science, vol. 36, no. 1, pp. 220-236, Mar. 2023, doi:10.35378/gujs.1008125