

PERANCANGAN DAN REALISASI SLOT RING PATCH WEARABLE ANTENNA DENGAN SRR METAMATERIAL UNTUK MENGURANGI SPECIFIC ABSORPTION RATE (SAR)

1st Dzulfikar Natya Afif Hakim
Prodi S1 Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

dzulfikarafif@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Bambang Setia Nugroho
Prodi S1 Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

bambangsetianugroho@telkomuniversity.ac.id

3rd Edwar
Prodi S1 Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

edwarm@telkomuniversity.ac.id

Abstrak— Keamanan antara pasien dan tenaga kesehatan menjadi perhatian terlebih saat pandemi Covid-19. Banyak tenaga kesehatan yang terpapar saat berinteraksi dengan pasien walaupun dengan protokol yang ketat. Cara untuk mengurangi interaksi pasien dengan tenaga kesehatan adalah membuat sebuah perangkat yang dapat memonitor pasien secara jarak jauh yang berfungsi mengirimkan informasi dari pasien menuju ke pusat rumah sakit sehingga nantinya bisa diakses oleh tenaga kesehatan, salah satu komponen dari perangkat tersebut adalah antenna. Agar antenna tersebut nyaman dengan membuat antenna tersebut fleksibel, selanjutnya disebut sebagai wearable antenna. Namun antenna tersebut tak luput dari kekurangan, yaitu efek radiasi yang dihantarkan oleh antenanya. Cara untuk menguranginya dengan menambah metamaterial di belakang antenna. Percobaan dilakukan dua kali, kondisi on-body dan off-body. Pada percobaan off-body, antenna konvensional mendapatkan nilai gain 6,203 dBi dan bandwidth 147,4 MHz sedangkan antenna dengan metamaterial mendapatkan hasil gain 6,455 dBi dan bandwidth 163,6 MHz. Percobaan on-body jarak 0 mm, antenna konvensional mendapatkan nilai SAR sebesar 1,39712 W/Kg dengan bandwidth sebesar 146,8 MHz sedangkan dengan penambahan komponen metamaterial mendapatkan nilai SAR sebesar 1,17096 W/Kg dengan bandwidth sebesar 151,7 MHz.

Kata kunci Wearable antenna, microstrip, SAR, ISM, Metamaterial, off-body, on-body.

I. PENDAHULUAN

WBAN (Wireless Body Area Network) mendapatkan fokus yang meningkat dalam tahun – tahun ini. Apalagi dimasa pandemi yang membuat pasien dan tenaga kesehatan harus menjaga jarak agar tidak terpapar virus. Menjaga jarak pun tak luput dari paparan virus, walau sudah dengan protokol kesehatan yang ketat. Tak hanya itu, pengaplikasian WBAN (Wireless Body Area Network) juga dapat mengurangi biaya kesehatan dan memonitor kesehatan penggunaanya secara terus menerus lewat perangkat *wearable* dan sensor *wireless*. Dalam sistemnya, beberapa sensor mengumpulkannya lalu, mengirimkannya ke rumah sakit dan *data center* kesehatan. Data tersebut dipergunakan untuk menganalisis kondisi terkini dari kesehatan pasien. Jenis data yang di monitor adalah suhu tubuh, ritme pernafasan, detak

jantung, tekanan darah, kadar gula dalam darah, dan kadar pH.

Namun ada satu aspek yang tidak bisa diabaikan ketika menggunakan teknologi ini adalah paparan radiasi dari gelombang RF (Radio Frequency). Parameter yang harus dievaluasi adalah SAR (Specific Absorption Rate) dan efisiensi radiasi dari antenna. SAR (Specific Absorption Rate) merupakan satuan ukuran jumlah energi yang terserap ketika tubuh manusia terpapar gelombang RF. Beberapa metode untuk mengurangi SAR telah dilakukan dengan menggunakan metamaterial absorber. Standar yang sudah ditentukan adalah 1.6W/Kg untuk 1g (US) dan 2.0W/Kg untuk 10gW/Kg untuk 1g (EU) [1]. Sedangkan frekuensi mengikuti standar (ISM) Industrial, Scientific and Medical. Telah dibuat sebuah antenna *wearable* dengan *circular patch* tanpa metamaterial dan didapatkan hasil SAR sebesar 1.46 W/Kg dengan penambahan slot rektanguler dan 1.49 W/Kg tanpa slot rektanguler pada jarak 36mm dari *phantom* [2]. Penelitian antenna dengan menambah metamaterial SRR dilakukan pada *patch* rektanguler dengan menggunakan substrat *bed sheet cotton* dan tembaga sebagai bahan *patch* dan *groundplanenya* dan didapatkan hasil sebesar 1.25 W/Kg [3].

Percobaan menggunakan metamaterial SRR pun pernah dilakukan, percobaan tersebut dilakukan dengan cara menaruh sebuah metamaterial berbentuk kotak diantara antenna dan kepala, frekuensi yang digunakan merupakan frekuensi seluler direntang 900 MHz dan 1800 MHz dari percobaan tersebut didapatkan penurunan nilai SAR dari 2.43 W/Kg menjadi 1.0623 W/Kg untuk 1g. Terbukti penggunaan metamaterial dapat menurunkan nilai SAR[4].

Selain dengan menggunakan metamaterial, terdapat penelitian lain yang menggunakan EBG (Electromagnetic band-gap) sebagai metode dalam pengurangan SAR. Dalam penelitian ini bentuk *patch* antenna menggunakan *circular ring* slot. Untuk frekuensinya sendiri mengikuti standar ISM yang berada pada 2.4 GHz dengan rentang 2.28-2.64 GHz. Bahan substratnya sendiri memakai bahan tekstil yaitu wol dengan nilai permitivitas relatif 1.2 dan loss tangen berada pada 0.02, dan didapatkan hasil yaitu sebelum digunakan EBG untuk 1g adalah 13.5 W/Kg sedangkan untuk 10g adalah 7.98W/Kg

dan setelah ditambah EBG SAR 1g 0.554W/Kg sedangkan 10g 0.23W/kg[5].

Tentunya karena ini merupakan *wearable antenna* maka antenna tersebut harus mengikuti bentuk tubuh manusia, maka dibutuhkan substrat yang lentur. Seperti yang dikemukakan pada jurnal ini, dibuatlah Sebuah antenna fleksibel dual-band dengan metamaterial dibuat dengan substrat polimide sehingga antenna tersebut lentur dan mudah dibengkokkan. Antena ini memiliki 2 frekuensi kerja yang berada pada 2.45 GHz dan 5.8 GHz dengan coplanar waveguide (CPW) pada transmission line terletak pada bawah substratnya, dan didapatkan hasil SAR 17.50 W/Kg pada 1g dan 8.99 W/Kg pada 10g di frekuensi 2.45 GHz sedangkan pada frekuensi 5.8 GHz didapatkan SAR sebesar 9.3 W/Kg dan 4.08 W/Kg [6].

Maka dari itu dalam perancangan tugas akhir ini, penulis membuat *wearable antenna* dengan bentuk *patch slot ring* dengan metamaterial untuk mengurangi SAR pada tubuh. *Slot ring* memiliki kelebihan yaitu mempunyai efisiensi radiasi yang baik saat mengalirkan input daya dari sumber generator sehingga menghasilkan efisiensi radiasi yang tinggi selanjutnya berdampak kepada *gain* dan *bandwidth* yang bertambah [7], maka dari itu ditentukanlah *circular slot ring antenna* dengan *Cordura* sebagai substrat dan mengikuti standar maksimum SAR yang boleh diserap tubuh dengan frekuensi yang sesuai dengan standar (*ISM*) *Industrial, Scientific and Medical*.

II. KONSEP DASAR

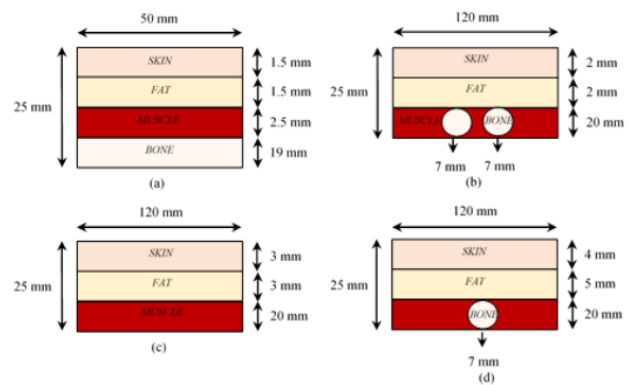
A. Antena

Antena didefinisikan sebagai perangkat logam bisa berbentuk batang atau kawat untuk memancarkan atau menerima gelombang radio. IEEE menyebutnya sebagai meradiasikan atau menerima gelombang radio. Syarat agar antena bisa meradiasikan dengan baik adalah dengan mencatu sumber arus yang berupa sinyal sinusoidal, sinyal pulsa dan sinyal-sinyal lainnya yang bervariasi terhadap waktu[8].

Antena mikrostrip merupakan antena yang sederhana banyak dibutuhkan pada banyak objek seperti pesawat super cepat, wahana antariksa, satelit, dan juga misil yang mana membutuhkan antena dengan ukuran kecil selain itu banyak juga penggunaannya dalam penggunaan secara komersial ataupun oleh pemerintahan. Antena mikrostrip terdiri atas *patch*, substrat, dan *groundplane* [8].

B. Phantom

Berdasarkan judul yang diusulkan yaitu *wearable antenna* maka, dibutuhkan suatu pemodelan yang menyerupai bentuk tubuh manusia. *Phantom* merupakan suatu simulasi yang dirancang dengan karakteristik tubuh manusia. Mulai dari ketebalan kulit, lemak, otot hingga tulang. Karakteristik yang dibutuhkan adalah permitivitas, permeabilitas, dan konduktivitas agar hasil dari simulasi bisa mendekati aslinya.



Gambar 2. 1 Phantom dari pergelangan tangan (a), lengan (b), dada (c), dan paha (d) [9]

Berikut merupakan konduktivitas elektrik dan permitivitas dari jaringan tubuh manusia pada frekuensi 5.8 GHz [10]:

Tabel 2. 1 Tabel Karakteristik Listrik Tubuh Manusia [10]

	Permitivitas	Konduktivitas elektrik (S/m)
Kulit	35.1	3.72
Lemak	4.95	2.93
Otot	48.5	4.96
Tulang	9.67	1.15

C. Frekuensi ISM

Industrial, Scientific, and Medical (ISM) sesuai namanya merupakan suatu band frekuensi radio yang sudah ditetapkan untuk penggunaan industri, sains maupun kesehatan. Standar ini dikeluarkan oleh ITU Radio. Frekuensi ini biasa digunakan untuk Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, telepon, RFID, dan NFC. Berikut merupakan frekuensi ISM [11]:

Tabel 2. 2 Tabel Frekuensi ISM [11]

Rentang Frekuensi	Frekuensi Tengah	Bandwidth
6.765 MHz - 6.795 MHz	6.78 MHz	30 kHz
13.553 MHz - 13.567 MHz	13.56 MHz	14 kHz
26.957 MHz - 27.283 MHz	27.12 MHz	326 kHz
40.66 MHz - 40.7 MHz	40.68 MHz	40 kHz
433.05 MHz - 434.79 MHz	433.92 MHz	1.74 MHz

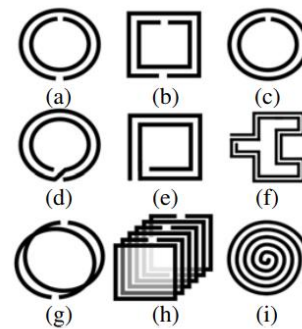
902 MHz - 928 MHz	915 MHz	26 MHz
2.4 GHz - 2.5 GHz	2.45 GHz	100 MHz
5.725 GHz - 5.875 GHz	5.8 GHz	150 MHz
24 GHz - 24.25 GHz	24.125 GHz	250 MHz
61 GHz - 61.5 GHz	61.25 GHz	500 MHz
122 GHz - 123 GHz	122.5 GHz	1 GHz
244 GHz - 246 GHz	245 GHz	2 GHz

D. Metamaterial

Meta berasal dari bahasa Yunani yaitu "luar". Metamaterial merupakan sebuah material yang memiliki karakteristik unik yang tidak dimiliki di alam. Metamaterial pertamakali menjadi perbincangan pada tahun 1986 dan dibuat oleh V.G. Veselago yang mengatakan membuat suatu material dengan permitivitas dan permeabilitas negatif itu secara teoritis memungkinkan. Metamaterial memiliki banyak fungsi seperti meningkatkan *gain*, mengecilkan ukuran antena, dan juga mengurangi level radiasi [12]. Metamaterial diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu:

- A. Double Positive (DPS) Material
Metamaterial yang memiliki permitivitas dan permeabilitas lebih besar dari nol ($\epsilon > 0, \mu > 0$)
- B. Epsilon Negative (ENG) Material
Metamaterial yang memiliki permitivitas kurang dari nol dan permeabilitas lebih dari nol ($\epsilon < 0, \mu > 0$)
- C. Mu Negative (MNG) Material
Metamaterial yang memiliki permitivitas lebih dari nol dan permeabilitas kurang dari nol ($\epsilon > 0, \mu < 0$)
- D. Double Negative (DNG) Material
Metamaterial yang memiliki permitivitas kurang dari nol dan permeabilitas kurang dari nol ($\epsilon < 0, \mu < 0$)

Untuk penelitian kali ini menggunakan metamaterial dengan jenis metamaterial absorber untuk mengurangi nilai SAR, salah satu bentuk yang biasa dipakai adalah *Split Ring Resonator* (SRR) bentuknya sebagai berikut [13]:



Gambar 2. 2 Bentuk-bentuk Metamaterial SRR [13]

Diantara banyak jenis metamaterial, bentuk *Split Ring Resonator* (SRR) merupakan salah satu yang pertama ditemukan dan hingga saat ini banyak digunakan dalam berbagai riset. Ketika sebuah ring berbahan metal ditempatkan dalam gelombang elektromagnetik berorientasi dengan medan magnet yang terpolarisasi tegak lurus ke permukaan ring metamaterialnya, medan magnet menginduksi arus yang melingkar di cincinnya. Menurut hukum Faraday, yang menghasilkan fluks magnet (induktif murni dan resonant) berlawanan dengan dengan medan magnet luar. Selanjutnya, kapasitansi di produksi dengan cara membuat celah diantara cincin tersebut. Karena terdapat celah di cincinnya, arus yang bersirkulasi menghasilkan muatan listrik yang disimpan diantara celah tersebut, yang selanjutnya disimpan sebagai kapasitansi [14].

Salah satu faktor mengapa nilai SAR bisa membesar adalah back-lobe radiation yang mana back-lobe radiation merupakan akibat langsung dari difraksi surface wave (gelombang permukaan) yang terjadi di ujung groundplane [15]. Selain membuat nilai SAR membesar, back-lobe dapat menyebabkan interferensi dari noise disekitar dan juga powerloss [16]. Pada percobaan kali ini untuk mengurangi tingginya nilai SAR adalah memakai metamaterial, Metamaterial disini akan merefleksikan gelombang back-lobe yang dihasilkan oleh antena dalam frekuensi tertentu [17].

SRR dipilih karena bisa menghasilkan nilai permeabilitas negatif. Ketika gelombang elektromagnetik dari backlobe menyentuh lapisan dari metamaterial, gelombang dari backlobe akan dipantulkan kembali sehingga energi yang disalurkan dapat dikonsentrasikan dan radiasi lebih banyak yang menuju arah depan [18]. Selain itu, surface wave (gelombang permukaan) dapat ditekan dan semakin banyak energi yang bisa diradiasikan dari *patch*. Sebagai tambahan, ketika AMC ditempatkan dibawah antena tidak hanya menunjukkan sifat *perfect magnetic conductor* (PMC) untuk memperbaiki radiasi tapi juga dapat menambah gain dan menambah lebar *bandwidth* [19].

Maka penelitian kali ini berfokus pada pengurangan back-lobe yang di hasilkan oleh antena. Salah satu bagian dari metamaterial adalah *Artificial Magnetic Conductor* (AMC) dimana permukaan metamaterial dapat bertindak sebagai *Perfect Magnetic Conductor* (PMC). Metamaterial kali ini akan dibuat bersifat seperti magnetic conductor, yang mana dapat memantulkan gelombang datang elektromagnetik tanpa mengubah fasanya [20].

E. Specific Absorption Rate (SAR)

Salah satu unsur yang harus diperhatikan ketika membuat antenna WBAN adalah Specific Absorption Rate (SAR). SAR merupakan banyaknya radiasi gelombang sinyal RF yang diserap oleh tubuh. SAR juga diidentifikasi sebagai banyaknya daya yang diserap per massa dari jaringan dengan satuan watt per kg (W/Kg). standar yang ditetapkan adalah 1.6 W/Kg untuk 1g jaringan tubuh di Amerika. SAR sendiri memiliki rumus:

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho}$$

Dimana σ merupakan konduktifitas material suatu bahan (S/m), $|E|$ merupakan besar magnitude vector medan listrik (V/m) dan ρ merupakan massa jenis material (Kg/m^3).

III. METODE

A. Spesifikasi Antena

Agar antenna dapat bekerja dengan baik dan sesuai dengan yang diinginkan maka dibutuhkan spesifikasi. Antena ini dirancang agar mampu bekerja pada frekuensi 5.8 GHz. Dan bentuk patch yang direncanakan adalah sirkular. Berikut merupakan spesifikasi antenna yang dirancang:

Tabel 3. 1 Tabel Parameter Antena

Parameter	Spesifikasi
Frekuensi Kerja	5.8 GHz
Gain	>0 dB
VSWR	<2
Bandwidth	150 MHz
SAR Level	1.6W/Kg untuk 1g
Return Loss	≤ -10 dB

B. Karakteristik Bahan

Pada pemilihan bahan substrat ada beberapa faktor yang harus diperhatikan seperti ketebalan bahan dan konstanta dielektrik. Pada perancangan kali ini Cordura dipilih karena kuat dan fleksibel. Berikut merupakan karakteristik bahan Cordura.

Tabel 3. 2 Karakteristik Bahan Substrat [21]

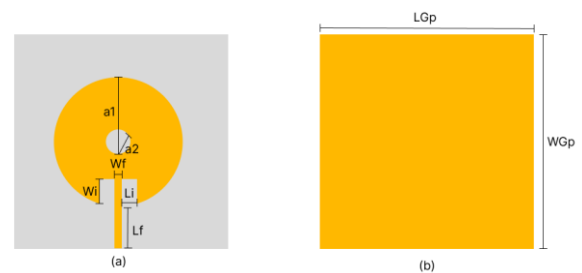
Jenis Substrat	Cordura
Konstanta Dielektrik Relatif (ϵ_r)	1,9
Loss Tangen	0,0098
Ketebalan Substrat	0,5 mm

C. Hasil Antena Konvensional

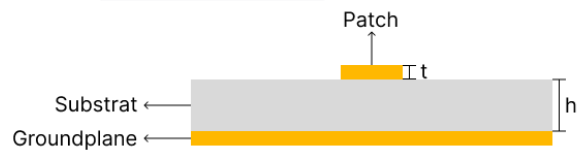
Antena ini terdiri atas patch, substrat, dan groundplane. Berikut merupakan hasil optimasi antenna setelah melalui perhitungan:

Tabel 3. 3 Tabel setelah optimasi pertama

Parameter	Keterangan	Ukuran
Radius Luar	a1	10,53 mm
Radius Dalam	a2	2 mm
Tebal substrat	h	1.5 mm
Lebar saluran pencatu	Wf	1.2 mm
Panjang saluran pencatu	Lf	7 mm
Lebar groundplane	WGp	35 mm
Panjang groundplane	LGp	35 mm
Tebal tembaga	t	0.1 mm
Lebar inset feed	Wi	4,5 mm
Panjang inset feed	Li	2,5 mm



Gambar 3. 1 Antena setelah optimasi, (a) tampak depan, (b) tampak belakang



Gambar 3. 2 Desain struktur dari sisi samping

Antena ini merupakan dasar dari antenna sebelum ditambah komponen metamaterial. Perancangan ini akan menjadi acuan nilai *bandwidth*, *gain*, dan SAR yang selanjutnya akan dites dalam dua kondisi dengan dan tanpa *phantom*. *Phantom* bertujuan agar simulasi bisa berjalan lebih akurat sesuai dengan kondisi asli tubuh.

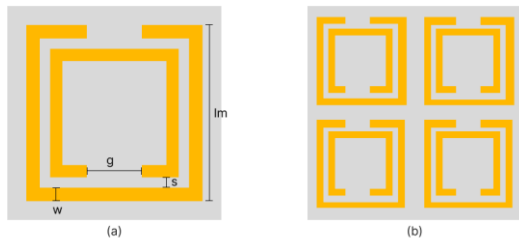
Tabel 3. 4 Tabel nilai SAR antenna awal

Phantom Dada	
Jarak	SAR (W/kg)
0 mm	1.39712
1 mm	0.868643
2 mm	0.837007
3 mm	0.743487
4 mm	0.638017
5 mm	0.545613

D. Perancangan Metamaterial

Penambahan metamaterial bertujuan untuk meningkatkan nilai *bandwidth* dan menurunkan nilai SAR. Pada perancangan kali ini memakai metamaterial SRR (Split-Ring

Resonator) dengan bentuk rectangular. Antena dengan metamaterial ini memiliki 2 bagian. Bagian pertama berisi patch antena dan substrat, sedangkan pada bagian kedua berisi metamaterial, substrat, dan *groundplane*. Kedua struktur tersebut akan saling menempel.



Gambar 3. 3 Metamaterial SRR Rectangular (a) Unit cell (b) Metamaterial 2X2

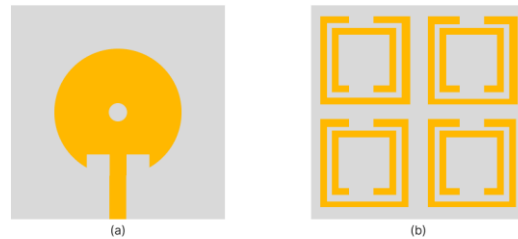
Tabel 3. 5 Parameter Metamaterial

Parameter	Keterangan	Ukuran
Panjang ring	lm	14.41 mm
Tebal ring metamaterial	w	1,2 mm
Jarak antar ring metamaterial	s	1,5 mm
Tebal substrat metamaterial	hs	1 mm
Gap metamaterial	g	3,25 mm
Panjang substrat metamaterial	Lmt	35 mm
Tebal tembaga	t	0,1 mm

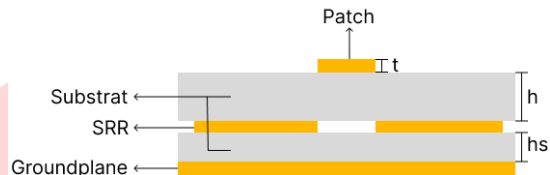
Tentunya karena terdapat penambahan komponen metamaterial, *patch* antena pun akan mengalami optimasi agar spesifikasi sesuai dengan yang di inginkan. Berikut merupakan ukuran antena dengan penambahan metamaterial setelah optimasi:

Tabel 3. 6 Tabel optimasi antena dengan metamaterial

Parameter	Keterangan	Ukuran
Radius Luar	a1	10,4 mm
Radius Dalam	a2	1,5 mm
Tebal substrat	h	1.5 mm
Lebar saluran pencatu	Wf	2,75 mm
Panjang saluran pencatu	Lf	7,5 mm
Lebar <i>groundplane</i>	WGp	35 mm
Panjang <i>groundplane</i>	LGp	35 mm
Tebal tembaga	t	0.1 mm
Lebar <i>inset feed</i>	Wi	3,5mm
Panjang <i>inset feed</i>	Li	3,75 mm



Gambar 3. 4 Rancangan (a) antena dan (b) lapisan metamaterial



Gambar 3. 5 Desain struktur antena tampak samping

Tabel 3. 7 Tabel nilai SAR antena dengan metamaterial

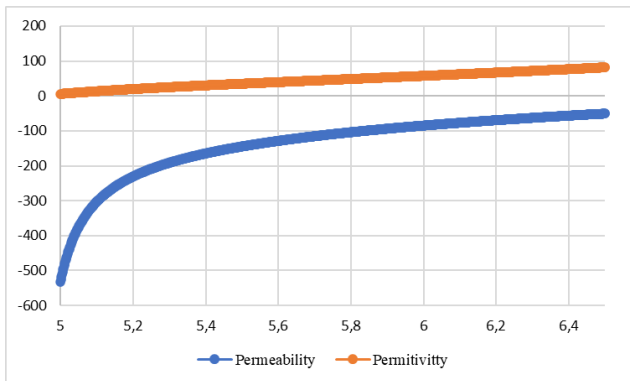
Phantom Dada	
Jarak	SAR (W/kg)
0 mm	1.17096
1 mm	1.37288
2 mm	1.5806
3 mm	1.53998
4 mm	1.41387
5 mm	1.2536
10 mm	0.453657

Tabel 3. 8 Tabel optimasi antena dengan metamaterial

Spesifikasi	Antena konvensional		Antena dengan metamaterial	
	Off-Body	On-body	Off-Body	On-body
Return Loss (dB)	-31,1	-52,64	-19,62	-18,52
VSWR	1,05	1,00467	1,23	1,26
Bandwidth (MHz)	147,4	146,8	163,6	151,7
Gain (dBi)	6,203	6,797	6,455	6,647
SAR (W/kg)	-	1,39712	-	1.17096
Pola radiasi	unidirectional	unidirectional	unidirectional	unidirectional

E. Validasi Metamaterial

Metamaterial yang digunakan kali ini memiliki permitivitas positif (ϵ) dan permeabilitas negatif (μ). Dengan nilai permitivitas 48,36 dan nilai permeabilitas sebesar -104,04. Jika mengacu pada teori, maka metamaterial ini termasuk kedalam MNG (Mu Negative) metamaterial.



Gambar 3. 6 Tabel grafik permitivitas dan permeabilitas metamaterial

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Fabrikasi Antena

Setelah melalui proses simulasi pada software dan mendapatkan hasil yang di inginkan, maka proses selanjutnya adalah memfabrikasi antena tersebut. Bahan yang digunakan pada pembuatan antena ini adalah Cordura TrueLock.



Gambar 4. 1 Tampak depan antena konvensional



Gambar 4. 2 Tampak belakang antena konvensional



Gambar 4. 3 Tampak depan antena dengan metamaterial sebelum di satukan



Gambar 4. 4 Tampak belakang antena dengan metamaterial sebelum di satukan



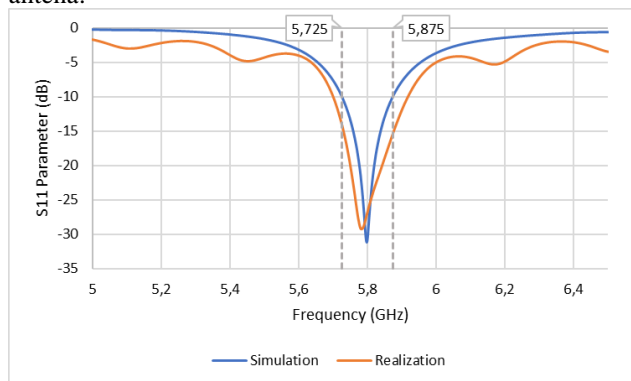
Gambar 4. 5 Tampak depan antena setelah di solder



Gambar 4. 6 Tampak belakang antena setelah di solder

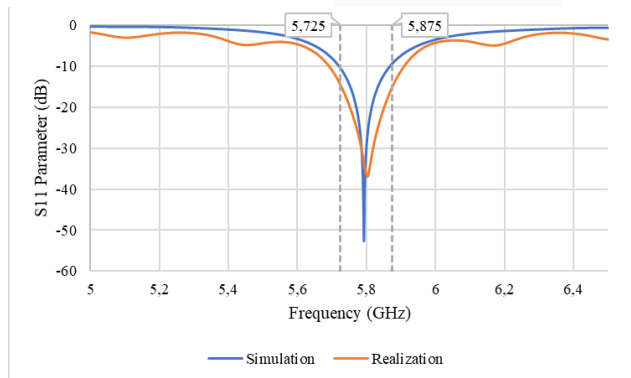
B. Hasil Pengukuran *Return Loss* dan *Bandwidth*

Dalam pengukuran *bandwidth* dan *VSWR* dilakukan dalam dua kondisi, *off-body* dan *on-body*. Pengukuran *bandwidth* dan *VSWR* dilakukan bersamaan dikarenakan saling berhubungan. Berikut merupakan hasil pengukuran antenna:



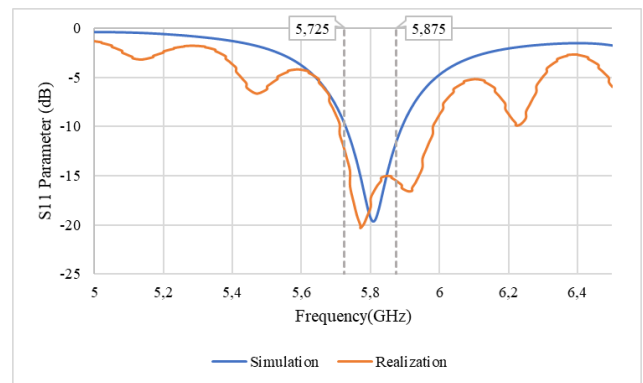
Gambar 4. 7 Hasil simulasi dan realisasi antenna konvensional off-body

Pada grafik Gambar 4.5 terlihat bahwa hasil *return loss* pada kondisi simulasi maupun realisasi mengalami perbedaan. Pada antenna simulasi *return loss* yang dihasilkan sebesar -31,1 dB dengan *bandwidth* sebesar 147,4 MHz sedangkan pada saat realisasi *return loss* yang dihasilkan sebesar -29,703 dB dengan *bandwidth* sebesar 215 MHz. Frekuensi tengah pada simulasi tepat berada di 5,8 GHz sedangkan pada saat simulasi mengalami sedikit pergeseran di 5,792 GHz.



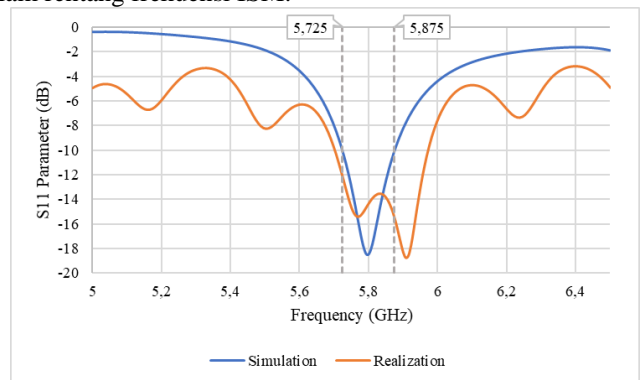
Gambar 4. 8 Hasil simulasi dan realisasi antenna konvensional on-body

Kondisi *on-body* dalam simulasi maupun realisasi merupakan jarak 0 antara *phantom* dan antenna. Pada grafik Gambar 4.6 terlihat bahwa hasil simulasi maupun realisasi antenna konvensional dalam keadaan *on-body* mengalami perbedaan. Pada simulasi *return loss* yang dihasilkan sebesar -52,64 dB dengan *bandwidth* sebesar 146,8 MHz sedangkan pada saat realisasi *return loss* yang dihasilkan sebesar -36,277 dB dengan *bandwidth* sebesar 213 MHz.



Gambar 4. 9 Hasil simulasi dan realisasi antenna dengan metamaterial off-body

Pada grafik Gambar 4.9 menunjukkan hasil bahwa hasil simulasi antenna dengan metamaterial menghasilkan nilai *return loss* sebesar -19,62 dB dan nilai *bandwidth* sebesar 163,6 MHz dengan *return loss* terendah yang berada pada 5,807 GHz sedangkan pada saat di uji pada VNA *return loss* menghasilkan nilai sebesar -20,243 dB dan nilai *bandwidth* sebesar 275 MHz dengan *return loss* terendah berada pada frekuensi 5,771 GHz, walau bergeser namun masih sesuai dalam rentang frekuensi ISM.

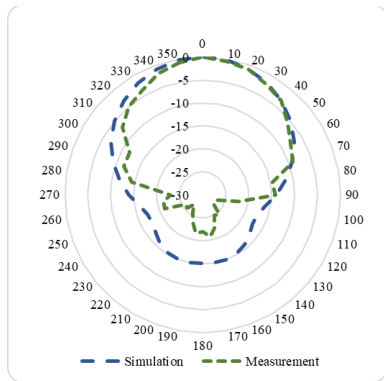


Gambar 4. 10 Hasil simulasi dan realisasi antenna dengan metamaterial on-body

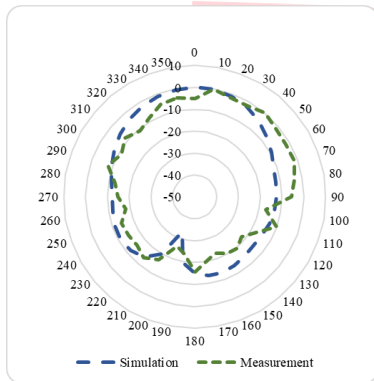
Kondisi *on-body* dalam keadaan realisasi maupun simulasi mengalami perbedaan. Pada antenna dengan metamaterial ketika di simulasikan mendapatkan *return loss* sebesar -18,52 dB dengan *bandwidth* sebesar 151,7 MHz dan pada realisasinya antenna menghasilkan nilai *return loss* sebesar -18,653 dB dengan *bandwidth* sebesar 270 MHz.

C. Hasil pengukuran polaradiasi

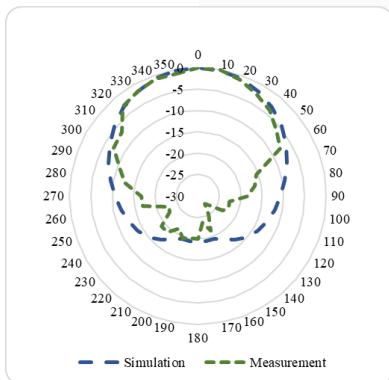
Setelah hasil pengukuran pola radiasi di dapatkan dan diolah dalam excel selanjutnya adalah membandingkannya dengan hasil simulasi. Berikut merupakan perbedaan pola radiasi azimuth dan elevasi dalam simulasi maupun realisasi:



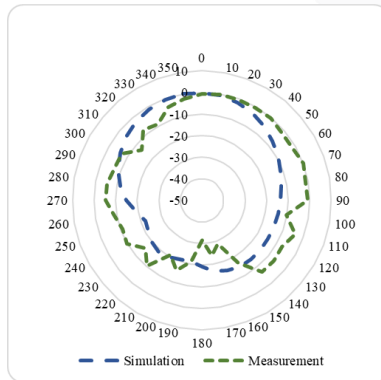
Gambar 4. 11 Hasil Pola radiasi azimuth antenna konvensional



Gambar 4. 12 Gambar 4. 11 Hasil Pola radiasi azimuth antenna konvensional



Gambar 4. 13 Hasil Pola radiasi azimuth antenna dengan metamaterial



Gambar 4. 14 Hasil Pola radiasi elevasi antenna dengan metamaterial

D. Hasil pengukuran gain

Perhitungan untuk mencari nilai gain adalah sebagai berikut:

$$P_{rx} - P_{tx} = S_{21}$$

$$S_{21} = -L_{st} + G_{At} - FSL + G_{Ar} - L_{sr}$$

Untuk mencari nilai FSL adalah sebagai berikut:

$$FSL = 32,45 + 20Log_{10}F(MHz) + 20Log_{10}D(km)$$

Dimana:

Ptx = Power Transmit (dBm)

Prx = Power Receive (dBm)

LSt = Loss Cable Transmit (dB)

LSr = Loss Cable Receive (dB)

GAt = Gain Antena Transmiteme (dBi)

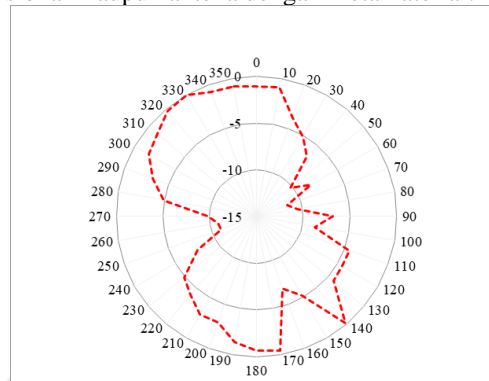
GAr = Gain Antena Receive (dBi)

Berikut merupakan hasil dari pengukuran nilai gain antenna:

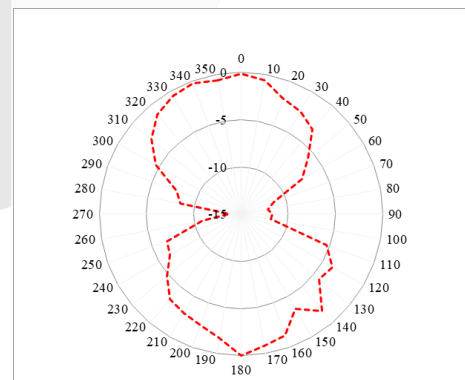
Antena konvensional		Antena dengan metamaterial	
Simulasi	Realisasi	Simulasi	Realisasi
6,203 dB	4,1082 dB	6,455 dB	3,903 dB

E. Hasil pengukuran polarisasi

Berikut merupakan hasil polaradiasi dari antenna konvensional maupun antenna dengan metamaterial:



Gambar 4. 15 Hasil Polarisasi antenna konvensional



Gambar 4. 16 Hasil Polarisasi antenna dengan metamaterial

V. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil proses perancangan melalui software dan fabrikasi antena dengan bahan tekstil Cordura TrueLock yang bekerja pada frekuensi 5,8 GHz untuk aplikasi kesehatan adalah sebagai berikut:

1. Antena mikrostrip berbahan tekstil untuk pengaplikasian wearable antena yang telah disimulasikan dan direalisasikan sudah berhasil dibuat dan sesuai dengan spesifikasi yang sudah ditentukan.
2. Penambahan struktur SRR metamaterial terbukti dapat mengurangi nilai SAR sebanyak 16,18 %. Pada antena konvensional mendapatkan nilai SAR sebesar $1,39712 \text{ W/kg}$, sedangkan antena dengan metamaterial mendapatkan nilai SAR sebesar $1,17096 \text{ W/kg}$ dengan phantom bagian dada.
3. Terjadi penambahan gain sebesar 0,252 dB dan bandwidth sebesar 16,2 MHz pada antena dengan metamaterial dalam kondisi off-body.
4. Hasil pengukuran dalam keadaan off-body antena konvensional memiliki nilai bandwidth sebesar 215 MHz, return loss sebesar -29,073 dB, dan gain sebesar 4,803 dBi sedangkan antena dengan metamaterial mendapatkan nilai bandwidth sebesar 275 MHz, return loss sebesar -20,243 dB dan gain sebesar 5,01 dBi. Sedangkan dalam keadaan on-body antena konvensional memiliki nilai bandwidth sebesar 213 MHz dengan return loss sebesar -36,277 dB sedangkan antena dengan metamaterial memiliki nilai bandwidth sebesar 270 MHz dengan return loss sebesar -18,653 dB.
5. Antena sudah dapat digunakan sesuai dengan standar Industrial, Scientific and Medical (ISM) yang bekerja pada frekuensi 5,8 GHz.

REFERENSI

- [1] C95.3-2021 - IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields with Respect to Human Exposure to Such Fields, 0 Hz to 300 GHz. IEEE, 2021.
- [2] DYAH ALMIRA, "ANTENA WEARABLE PATCH SIRKULAR UNTUK MONITORING KESEHATAN," *Telkom University*, Jan. 2021.
- [3] S. Karthikeyan, Y. Venu Gopal, V. Giri Narendra Kumar, and T. Ravi, "Design and Analysis of Wearable Antenna for Wireless Body Area Network," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Oct. 2019, vol. 590, no. 1. doi: 10.1088/1757-899X/590/1/012022.
- [4] M. R. I. Faruque, M. T. Islam, and M. A. M. Ali, "A new design of metamaterials for SAR reduction," *Measurement Science Review*, vol. 13, no. 2, pp. 70–74, Apr. 2013, doi: 10.2478/msr-2013-0011.
- [5] G. P. Gao, B. Hu, S. F. Wang, and C. Yang, "Wearable Circular Ring Slot Antenna with EBG Structure for Wireless Body Area Network," *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, vol. 17, no. 3, pp. 434–437, Mar. 2018, doi: 10.1109/LAWP.2018.2794061.
- [6] M. Wang et al., "Investigation of SAR Reduction Using Flexible Antenna With Metamaterial Structure in Wireless Body Area Network," *IEEE Trans Antennas Propag*, vol. 66, no. 6, pp. 3076–3086, Jun. 2018, doi: 10.1109/TAP.2018.2820733.
- [7] J. Mohan, A. Gupta, Jaypee Institute of Information Technology University, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Uttar Pradesh Section. SP/CS Joint Chapter, and Institute of Electrical and Electronics Engineers, "SIW Based Two Layer Slot Ring Antenna for XBand RADAR Applications," *IEEE*, 2019.
- [8] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, Fourth Edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2016.
- [9] R. A. Kachiramattom, "Electromagnetic modelling of human tissues and its application on the interaction between antenna and human body in the BAN context," Paris, Jul. 2009. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/45110707>
- [10] C. Gabriel, "COMPILATION OF THE DIELECTRIC PROPERTIES OF BODY TISSUES AT RF AND MICROWAVE FREQUENCIES," *KING'S COLL LONDON (UNITED KINGDOM) DEPT OF PHYSICS*, 1996.
- [11] ITU Radio Regulations, "CHAPTER II – Frequencies, ARTICLE 5 Frequency allocations, Section IV – Table of Frequency Allocations," 2018
- [12] G. Singh, R. ni, and A. Marwaha, "A Review of Metamaterials and its Applications," *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 19, no. 6, pp. 305–310, Jan. 2015, doi: 10.14445/22315381/IJETT-V19P254.
- [13] A. Kabiri and O. M. Ramahi, "Generic Building Blocks for Construction of Artificial Magnetic Media," *Progress In Electromagnetics Research B*, vol. 62, pp. 17–28, 2015.
- [14] S. Roychoudhury, V. Rawat, A. H. Jalal, S. N. Kale, and S. Bhansali, "Recent advances in metamaterial split-ring-resonator circuits as biosensors and therapeutic agents," 2019. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956566316306492>
- [15] A. M. Hediya, A. M. Attiya, and W. S. El-Deeb, "Reduction of Specific Absorption Rate: A Review Article," *The Egyptian International Journal of Engineering Sciences and Technology*, vol. 39, pp. 80–96, 2022, [Online]. Available: <https://eijest.journals.ekb.eg/>
- [16] A. Jafargholi, A. Jafargholi, J. H. Choi, M. Veysi, and A. Soleimani, "Microstrip patch back radiation reduction using metamaterial superstrate," *IET Microwaves, Antennas and Propagation*, vol. 14, no. 2, pp. 158–164, Feb. 2020, doi: 10.1049/iet-map.2018.6237.
- [17] F. Bilotti and C. Vegni, "Employment of artificial magnetic metamaterials to effectively reduce the back-lobe of patch antennas," *Electromagnetics*, vol. 28, no. 7, pp. 513–522, Oct. 2008, doi: 10.1080/02726340802322544.

- [18] X. J. Gao, T. Cai, and L. Zhu, "Enhancement of gain and directivity for microstrip antenna using negative permeability metamaterial," *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, vol. 70, no. 7, pp. 880–885, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.aeue.2016.03.019.
- [19] M. Abu, M. Muhamad, Z. Zakaria, and H. Hasan, "Millimeter-Wave Parasitic AMC Patches on the Array Antenna," in *Proceedings - 6th International Conference on Computer and Communication Engineering: Innovative Technologies to Serve Humanity, ICCCE 2016*, Dec. 2016, pp. 19–24. doi: 10.1109/ICCCE.2016.18.
- [20] A. P. Feresidis, G. Goussetis, S. Wang, and J. C. Vardaxoglou, "Artificial magnetic conductor surfaces and their application to low-profile high-gain planar antennas," *IEEE Trans Antennas Propag*, vol. 53, no. 1 I, pp. 209–215, Jan. 2005, doi: 10.1109/TAP.2004.840528.
- [21] 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, Nov. 2012. doi: 10.3390/s121115841.

