

BAB II

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Pada pustaka [10] dengan judul “*A review: Design, Analysis and Applications of Wearable Antennas*” ini membahas mengenai analisa/review terhadap pengembangan antena yang dapat dipakai/tekstil/fleksibel untuk aplikasi dalam Komunikasi Berpusat pada Tubuh (*Body Centric Communication/BCC*) dalam Jaringan Area Tubuh Nirkabel (*Wireless Body Area Networks/WBAN*). Parameter kinerja antena meliputi *gain*, direktivitas, lebar pita, pola radiasi, efisiensi, dan Tingkat Penyerapan Spesifik (*Specific Absorption Rate/SAR*). Penelitian ini mencakup desain antena *single* dan *dual band* serta teknik fabrikasi yang relevan dengan bahan substrat yang dapat dipakai/fleksibel. Pustaka ini lebih membahas *Wearable antenna* secara umum, dan berfokus pada nilai SAR saja. Menjelaskan perbedaan berbagai desain antena dengan beragam bahan *textile* yang digunakan, seperti katun, jeans, denim, *fleece*, sutra, dll. Penelitian ini dijadikan sebagai referensi untuk penelitian yang saya lakukan, perbedaannya yaitu dalam penelitian saya menganalisa dua jenis bahan substrat tekstil yang belum ada dipenelitian tersebut yaitu *polyester* dan *rubber*. Pada penelitian saya, parameter performansi antena yang dianalisa adalah *return loss*, *VSWR*, *gain*, *bandwidth*, dan *SAR*. Kemudian pada penelitian saya menggunakan bentuk desain *patch hexagonal*.

Pada pustaka [3] dengan judul “*Wearable Textile Antenna for Gps Application*”. Pustaka ini berfokus pada pengembangan antena mikrostrip *patch* sirkular dengan *feed inset* yang dapat dipakai untuk aplikasi GPS. Penelitian ini bertujuan untuk merancang antena yang efisien pada bahan tekstil katun dengan menggunakan *feed inset* untuk mencapai *matching* impedansi yang sesuai dan *bandwidth* yang diinginkan pada band frekuensi resonansi GPS di 1.575 GHz. Pustaka ini membuat *Wearable antenna* menggunakan bahan *textile* katun, dan melakukan simulasi parameter pada software HFSS. Hasil pengujian yaitu *return loss* sebesar -25 dB dan *Gain* sebesar 5 dBi. Penelitian ini dijadikan sebagai referensi untuk penelitian yang saya lakukan, perbedaannya yaitu dalam penelitian

saya menganalisa dua jenis bahan substrat tekstil yang belum ada dipenelitian tersebut yaitu *polyester* dan *rubber*. Pada penelitian saya, parameter performansi antenna yang dianalisa adalah *return loss*, *VSWR*, *gain*, *bandwidth*, dan *SAR*. Kemudian pada penelitian saya menggunakan bentuk desain *patch hexagonal* dan disimulasikan pada CST Studio Suite 2019.

Pada pustaka [2] dengan judul “*Location tracking system using wearable on-body GPS antenna*”. Pustaka ini membahas pengembangan *Wearable antenna* dengan sistem GPS frekuensi resonansi di 1.575 GHz. Sistem ini memiliki manfaat dalam melacak lokasi manusia, terutama pasien dan orang tua, dalam radius 1 km. Komponen utama sistem ini terdiri dari antenna yang dapat dipakai, modul GPS, mikrokontroler berbiaya rendah, dua modul RF, dan sistem pemantauan lokal. Parameter pengujian antenna yaitu Tingkat Penyerapan Spesifik (Specific Absorption Rate/SAR). Pustaka ini melakukan pengujian *Wearable antenna* dengan simulasi tambahan perangkat *module* GPS dan arduino, hanya menguji parameter SAR saja. Hasil pengujian yang didapatkan yaitu SAR 1,478 W/kg (rata-rata 1 gram jaringan) dan 0,356 W/kg (rata-rata 10 gram jaringan). Penelitian ini dijadikan sebagai referensi untuk penelitian yang saya lakukan, perbedaannya yaitu dalam penelitian saya tidak sampai pada pembuatan *RF module* hanya menganalisa performansi dua antenna dengan jenis bahan substrat tekstil yang belum ada dipenelitian tersebut yaitu *polyester* dan *rubber*. Pada penelitian saya, parameter performansi antenna yang dianalisa tidak hanya SAR, yaitu *return loss*, *VSWR*, *gain*, dan *bandwidth*. Kemudian pada penelitian saya menggunakan bentuk desain *patch* yang berbeda yaitu *hexagonal*.

Pada pustaka [8] dengan judul “*Comparison of Performance Characteristics of Rectangular, Square and Hexagonal Microstrip Patch Antennas*”. Pustaka ini melakukan perbandingan antara tiga desain antenna *patch* mikrostrip yaitu *Rectangular*, *Square* and *Hexagonal*. Antena *patch* mikrostrip berbentuk persegi panjang, persegi, dan heksagonal dianalisis menggunakan HFSS, dan dibandingkan satu sama lain. Didapatkan nilai gain antenna dengan *patch* bentuk persegi panjang maupun heksagonal mengalami peningkatan. Kinerja antenna *patch* heksagonal yang dioptimalkan jauh lebih baik dibandingkan dengan antenna *patch* persegi panjang dan persegi. Pustaka ini melakukan

perbandingan antena mikrostrip dengan 3 bentuk *patch* yang berbeda *Rectangular, Square and Hexagonal*. Hasil pengujian antena dengan bentuk *patch hexagonal* yang didapatkan yaitu *return loss* sebesar -18 dB dan nilai Gain sebesar 2,9877. Penelitian ini dijadikan sebagai referensi untuk penelitian yang saya lakukan, yaitu pada bentuk *patch hexagonal*, perbedaannya adalah dalam penelitian tersebut hanya membuat antena mikrostrip biasa, sedangkan pada penelitian saya merealisasikan dan menganalisa performansi dua *wearable* antena dengan jenis bahan substrat tekstil yang belum ada dipenelitian tersebut yaitu *polyester* dan *rubber*. Pada penelitian saya, parameter performansi antena yang dianalisa yaitu *return loss*, *VSWR*, *gain*, *bandwidth*, dan *SAR*. Menggunakan *software* CST Studio Suite 2019 untuk simulasi.

Pada pustaka [1] dengan judul “*Design and Assembly of Textile Microstrip Antenna for Global Positioning System Application*”. Fokus pustaka ini adalah merancang dan merakit antena penerima GPS yang memiliki polarisasi *circular* pada frekuensi resonansi GPS di 1.575 GHz. Antena menggunakan teknik pemberian *stripline feeding*, *quarter wave transformer*, *truncated edge*, dan *slot utilization*. Penelitian juga akan menggunakan distorsi (*perturbation*) untuk memastikan bahwa antena tersebut bersifat polarisasi *circular* dan memodifikasi slot pada *patch* antena untuk meningkatkan lebar *bandwidth axial ratios*. Pustaka ini melakukan pembuatan antena *textile* mikrostrip dengan bahan *jeans*, bentuk *patch rectangular* dengan modifikasi. Hasil pengujian antena yang didapatkan yaitu *return loss* sebesar -17,98 dB, *VSWR* sebesar 1,28, *SAR* sebesar 0,8 W/Kg dan *axial ratio* sebesar 1,46. Penelitian ini dijadikan sebagai referensi untuk penelitian yang saya lakukan, perbedaannya yaitu dalam penelitian saya menganalisa dua jenis bahan substrat tekstil yang belum ada dipenelitian tersebut yaitu *polyester* dan *rubber*. Pada penelitian saya, parameter performansi antena yang dianalisa adalah *return loss*, *VSWR*, *gain*, *bandwidth*, dan *SAR*. Kemudian pada penelitian saya menggunakan bentuk desain *patch hexagonal*, menggunakan metode *Defected Ground Structure* (DGS) untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Hasil yang didapatkan yaitu antena *polyester* dengan *phantom* memiliki *return loss* -26,39 dB, *VSWR* 1,10, *bandwidth* 649 MHz, *gain* 2,31 dBi, dan nilai *Specific Absorption Rate* (*SAR*) 1,13881 W/kg. Sedangkan antena *rubber* dengan *phantom* memiliki *return*

loss -23,75 dB, VSWR 1,14, *bandwidth* 437 MHz, *gain* 3,0 dBi, dan nilai SAR 1,1324 W/kg. Realisasi antena *polyester on-body* memiliki *return loss* -28,3 dB, VSWR 1,08, dan *bandwidth* 272 MHz. Sedangkan antena *rubber on-body* memiliki *return loss* 21,15 dB, VSWR 1,18, dan *bandwidth* 374 MHz. Kedua antena memiliki hasil yang telah memenuhi spesifikasi yang diharapkan.

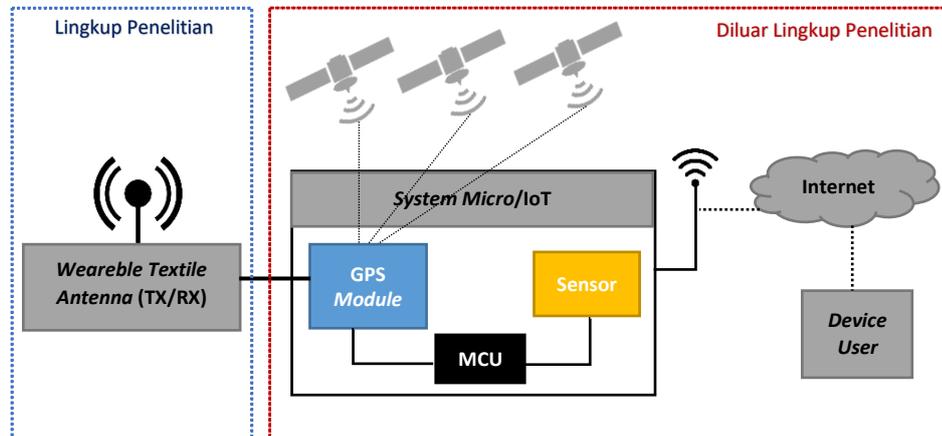
Pada penelitian [11] dengan judul “*Textile Wearable Antenna for Firefighters Positioning*”. Fokus pustaka ini adalah membuat sebuah antena tekstil yang dapat dipakai untuk menentukan lokasi pemadam kebakaran dalam situasi darurat. Antena yang diusulkan beroperasi pada pita GPS L1 yang berpusat pada 1.575 GHz, Menggunakan bahan substrat *jeans*, bentuk *patch* antena mikrostrip dipasangkan melalui *aperture* (bukaan) dan elemen radiasi-nya dibentuk menyerupai lambang dari pemadam kebakaran di Lecce (Italia). Pustaka ini melakukan pembuatan antena *textile* mikrostrip dengan bahan *jeans*, bentuk *patch* logo pemadam kebakaran. Parameter pengujian antena yaitu *return loss* sebesar -34,5 dB dan *Bandwidth* sebesar 33 MHz. Hasil yang dilaporkan menunjukkan bahwa frekuensi operasi bergantung pada kelembaban. Secara khusus, ia bergeser dari 1,62 GHz menjadi 1,58 GHz untuk kelembaban relatif meningkat dari 40% menjadi 90%. Penelitian ini dijadikan sebagai referensi untuk penelitian yang saya lakukan, perbedaannya yaitu dalam penelitian saya menganalisa dua jenis bahan substrat tekstil yang belum ada dipenelitian tersebut yaitu *polyester* dan *rubber*. Pada penelitian saya, parameter performansi antena yang dianalisa adalah *return loss*, VSWR, *gain*, *bandwidth*, dan SAR. Kemudian pada penelitian saya menggunakan bentuk desain *patch hexagonal*, menggunakan metode *Defected Ground Structure* (DGS) dan mendapatkan hasil yang lebih baik.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 *Global Positioning System*

GPS merupakan singkatan dari *Global Positioning System*, yaitu suatu sistem satelit yang dioperasikan oleh Departemen Pertahanan Amerika Serikat [12]. Teknologi GPS memainkan peran vital yang dapat mendeteksi lokasi seseorang pada saat yang sama dapat menemukan arah, kecepatan, dan jarak. Seluruh sistem GPS didasarkan pada sinyal navigasi pada 1.575 GHz dari satelit MEO. Dan dapat diakses untuk semua aplikasi militer dan sipil [3]. Pada penelitian

ini seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.1, antenna yang dirancang masih bersifat pasif karena lingkup penelitian yang dilakukan hanya sampai pada tahap pembuatan antenna dengan frekuensi kerja GPS di 1,575 GHz, tidak meneliti hingga integrasi *system* modul dan lain-lain.



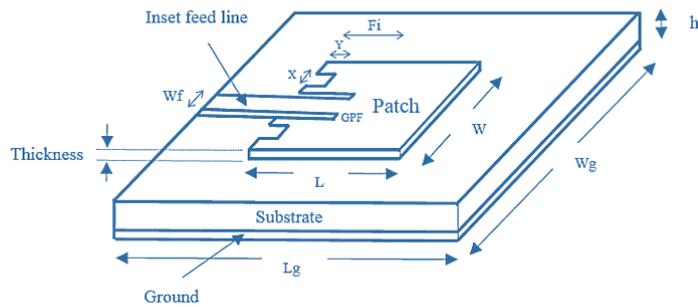
Gambar 2.1 Lingkup sistem penelitian

2.2.2 Antena

Antena adalah suatu piranti transisi antara saluran transmisi dengan ruang hampa dan sebaliknya. Antena terbuat dari bahan logam yang berbentuk batang atau kawat dan berfungsi untuk memancarkan atau menerima gelombang radio, atau sebaliknya. Selain itu, antena juga merupakan piranti pengarah karena digunakan untuk mengarahkan energi pancaran pada suatu arah dan menekan pada arah yang lain [13]. Teknologi komunikasi nirkabel yang berkembang pesat dan kebutuhan komunikasi antar komputer dengan medium gelombang mikro yang semakin luas menjadikan bertambahnya popularitas sistem nirkabel untuk pengembangan antena. Antena bisa dianggap sebagai tulang punggung sistem nirkabel [13].

2.2.3 Antena *Microstrip*

Antena mikrostrip merupakan jenis antena yang populer digunakan untuk aplikasi yang bekerja pada frekuensi di atas 100 MHz. Antena mikrostrip terdiri dari *patch* metal yang dicetak pada bagian atas substrat yang tipis dan *groundplane* di bagian bawah substrat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 dibawah ini. Ketebalan antena mikrostrip biasanya kurang dari 0.05λ , di mana λ adalah panjang gelombang pada ruang bebas [14].

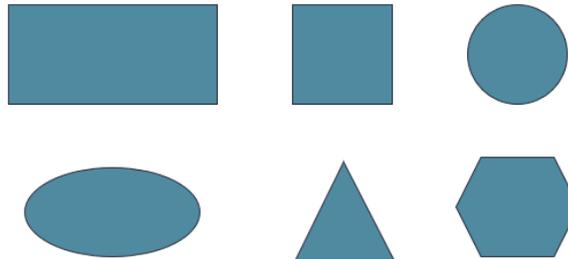


Gambar 2.2 Antena Mikrostrip [15]

1. *Patch*

Patch atau elemen peradiasi adalah lapisan paling atas antena yang terbuat dari bahan konduktor dengan ketebalan tertentu dan bentuk yang bermacam-macam seperti pada Gambar 2.3. Elemen ini berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara.

Ada berbagai macam *patch* antena mikrostrip seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 salah satu *patch* antena yang cukup menarik adalah *patch* antena bentuk segi 6 atau *hexagonal*.



Gambar 2.3 Jenis Patch Antena Mikrostrip

Pemilihan *patch hexagonal* didasarkan oleh bentuk dari antena mikrostrip *patch hexagonal* memiliki nilai *Return loss* dan *Gain* yang lebih baik dari pada antena *patch square* dan *rectangular* [8]. Antena mikrostrip *patch hexagonal* memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan antena mikrostrip *rectangular* dan *square*. Ukuran kecil adalah persyaratan penting untuk peralatan komunikasi portabel, seperti penerima *Global Positioning System* (GPS) [16].

Untuk menghitung dimensi antena mikrostrip *patch hexagonal*, digunakan beberapa persamaan berikut [17].

a. Panjang Gelombang

$$\lambda = \frac{c}{f_r} \quad (2.1)$$

Keterangan:

c : kecepatan cahaya dalam ruang hampa (3×10^8 m/s)

f_r : frekuensi resonansi

b. Panjang Patch

Untuk menentukan panjang *patch* sisi *hexagonal*, panjang *patch*, lebar *patch* dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut [17].

$$s = \frac{c}{3.1033 f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.2)$$

$$W = \frac{c}{2 f_r \sqrt{(\epsilon_r + 1)/2}} \quad (2.3)$$

Keterangan:

c : kecepatan cahaya dalam ruang hampa (3×10^8 m/s)

f_r : frekuensi resonansi

ϵ_r : permittivitas relatif substrat

s : sisi *hexagonal* antena

Untuk mencari L , maka terlebih dahulu ditentukan nilai konstanta dielektrik efektif (ϵ_{reff}) dan nilai panjang tambahan ΔL , persamaannya adalah:

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{(\epsilon_r + 1)}{2} + \frac{(\epsilon_r - 1)}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

$$\Delta L = 0.412 \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3) \frac{w}{h} + 0.264}{(\epsilon_{\text{reff}} - 1.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8 \right)} \quad (2.5)$$

$$L_{\text{reff}} = \frac{c}{2 f_r \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad (2.6)$$

$$L = L_{\text{reff}} - 2 \Delta L \quad (2.7)$$

2. Substrat

Elemen substrat adalah bahan dielektrik yang berfungsi sebagai penyalur gelombang elektromagnetik. Elemen ini memiliki nilai besaran tertentu yang disebut konstanta dielektrik (ϵ_r) dan ketebalan substrat (h). Semakin besar nilai konstanta dielektrik maka ukuran patch semakin kecil sehingga mempersempit

daerah radiasi. Sedangkan penambahan ketebalan substrat akan memperbesar bandwidth. Untuk menghitung panjang dan lebar substrat dengan cara perhitungan yang sama untuk perhitungan *groundplane*, sebagai berikut:

$$W_g = 6h + W \quad (2.8)$$

$$L_g = 6h + L \quad (2.9)$$

Agar L_g dapat menyeimbangkan dimensi *patch* maka menggunakan persamaan:

$$L_{gtotal} = L_g + L_f \quad (2.10)$$

3. Feed line

Feed line berfungsi sebagai catuan pada *patch*. Catuan ke *patch* menggunakan metode *microstrip line feeding* dimana dua konduktor akan berperan sebagai penyusun dan dipisahkan oleh substrat dengan permitivitas relatif (ϵ_r) dengan tinggi (h). Konduktor yang dimaksud yaitu sebuah strip dengan lebar (w) dan *grounding* (*groundplane*). Kemudian, impedansi karakteristik perlu diketahui sebagai parameter utama [18]. Untuk menghitung lebar *feedline* digunakan rumus sebagai berikut:

$$B = \frac{60\pi^2}{z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.11)$$

Sehingga dapat dihitung lebar *feedline* (W_f):

$$W_f = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (2.12)$$

Kemudian untuk menentukan panjang saluran catuan utama, periksa terlebih dahulu hasil perbandingan lebar saluran pencatu terhadap tebal substrat. Jika $\frac{W}{h} > 1$ maka nilai konstanta dielektrik relatif (ϵ_{reff}) dapat di hitung dengan persamaan:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}}} \right) \quad (2.13)$$

Untuk mengetahui panjang microstrip line dengan teknik *matching impedance* menggunakan transformator $\lambda/4$ yaitu:

$$L_f = \frac{\lambda_g}{4} \quad (2.14)$$

Dimana λ_g merupakan panjang gelombang bahan dielektrik dan L_f adalah panjang *feedline*.

$$\lambda_g = \frac{c}{f_r \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad (2.15)$$

4. *Ground Plane*

Elemen ground plane adalah lapisan paling bawah antenna yang terbuat dari bahan konduktor dengan ketebalan tertentu. Elemen ini berfungsi sebagai reflektor dan pembumian pada antenna mikrostrip. Apabila elemen ini dimodifikasi maka akan mengubah pola radiasi antenna.

2.2.4 Parameter Antena

Dalam antenna terdapat beberapa parameter antenna yang menentukan apakah antenna tersebut layak digunakan dan sudah memenuhi dengan standar yang ada. Beberapa parameter antenna yang digunakan dalam Penelitian ini sebagai berikut:

1. *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR)

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) merupakan sebuah perbandingan antara tegangan maksimum dengan tegangan minimum pada gelombang berdiri, akibat tidak *matching*-nya saluran transmisi dengan beban. Rumus dari VSWR adalah:

$$\text{VSWR} = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \quad (2.16)$$

Dimana Γ merupakan gelombang pantul. Kondisi ideal dari VSWR bernilai 1, dalam hal itu berarti tidak adanya gelombang pantul pada saluran transmisi dan saluran transmisi dengan beban *matching* dengan sempurna. Untuk nilai minimal VSWR adalah 1-2.

2. *Return loss*

Return loss merupakan parameter yang menggambarkan amplitudo gelombang yang dipantulkan dengan gelombang yang dikirimkan. Hal ini terjadi karena adanya daya yang memantul kembali dalam saluran transmisi. Rumus dari *Return loss* adalah:

$$RL = 20 \text{ Log}_{10} |\Gamma| \quad (2.17)$$

Nilai RL yang diizinkan adalah ≤ 10 dB.

3. *Bandwidth*

Bandwidth merupakan sebuah lebar pita pada saluran transmisi yang dapat dilalui oleh sebuah data. Dikarenakan *Bandwidth* tidak memiliki definisi baku. Berikut formulanya:

$$ABW = f_h - f_l \quad (2.18)$$

$$FBW = \frac{f_h - f_l}{f_c} \quad (2.19)$$

ABW adalah bandwidth absolute sedangkan FBW adalah bandwidth fraksional. f_h adalah frekuensi tertinggi dari band yang berada pada *peak* -10 dB, sedangkan f_l merupakan frekuensi terendah dari band yang berada pada *peak* -10 dB. f_c adalah frekuensi center atau frekuensi kerja.

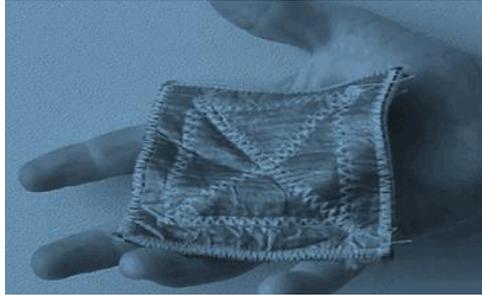
4. *Gain*

Gain merupakan bandingan intensitas radiasi pada arah tertentu dengan intensitas radiasi yang diterima jika daya yang diterima berasal dari antenna isotropik.

2.2.5 *Antena Wearable*

Antena adalah sebuah komponen yang dirancang untuk bisa memancarkan dan atau menerima gelombang elektromagnetik [19]. *Wearable antenna* adalah salah satu jenis aplikasi dari komunikasi *Wireless Body Area Network* (WBAN). *Wearable antenna* merupakan sebuah antena yang di desain untuk diintegrasikan menempel pada bagian dari pakaian dan tubuh manusia. Antena dan radio pada pakaian lebih praktis dibandingkan antena dan radio tradisional. Keuntungan ini khususnya digunakan untuk jangka panjang seperti *portable radio transceiver* pada aplikasi militer, *mobile phone*, tim penyelamat, dan monitoring Kesehatan [20].

Adapun antena yang digunakan harus memiliki fleksibilitas yang tinggi sehingga nyaman digunakan serta memiliki daya absorpsi minimum terhadap tubuh. Contoh dari *weareable* antena dapat dilihat pada Gambar 2.4. Selain itu untuk dapat memberikan performansi yang baik, *wearable antenna* didesain dengan ukuran yang tipis dan ringan.



Gambar 2.4 Wearable Antenna [21]

2.2.6 Antena Tekstil

Antena tekstil menjadi bahasan yang menarik sejak perkembangan dari komunikasi *wearable antenna* karena memungkinkan antena dari bahan tekstil diintegrasikan pada pakaian [20]. Antena tekstil merupakan jenis *wearable antenna* yang menggunakan bahan tekstil dan mempunyai keunggulan dalam pengaplikasiannya jika dipasang ditubuh [22]. Penelitian terbaru tentang antena tekstil menunjukkan bahwa konsep antena mikrostrip dapat diterapkan dengan baik pada antena tekstil.

Untuk dapat dikenakan di pakaian pekerja diperlukan karakteristik dari bahan yang mempengaruhi kinerja antena. Bahan ini tentunya ringan, fleksibel, dan nyaman saat digunakan. Pada penelitian ini dirancang antena menggunakan dua antena dengan bahan berbeda yaitu *rubber* dan *polyester* sebagai substrat, *copper tape* sebagai bahan *patch* dan *groundplane*, serta menggunakan desain *patch* antena berbentuk *hexagonal*.

1. Polyester

Polyester adalah bahan sintetis yang dibuat manusia dengan menggunakan benang atau serat poliester. Serat poliester terdiri dari senyawa kimia (Etilen Glikol dan Asam Tereftalat) dan Polyethylene Terephthalate (PET). Bahan ini dapat menyerap keringat dengan baik sehingga membuat kulit tetap kering, menjaga tubuh tetap sejuk ketika cuaca panas, tahan sinar ultraviolet, dan tidak mudah muncul jamur [23]. Bahan poliester yang digunakan pada penelitian ini seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kain bahan *polyester* [9]

2. *Rubber*

Rubber merupakan bahan fleksibel yang terbuat dari karet/rubber sepenuhnya atau sebagian, bahan elastis yang hadir dalam berbagai barang di kehidupan sehari-hari termasuk pada pakaian. Sifat fleksibel dan elastis ini membuat kain dengan bahan *rubber* lebih tahan terhadap sobekan [23]. Bahan *rubber* yang digunakan pada penelitian ini seperti Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Kain bahan *rubber* [24]

2.2.7 *Defected Ground Structure (DGS)*

Beberapa antena mikrostrip menggunakan DGS untuk memperbaiki performansi dari antenanya. Pada DGS, *groundplane* logam dari sebuah mikrostrip sirkuit didesain khusus untuk meningkatkan kinerja. “*Defect*” ini diperoleh dengan mengurangi dari beberapa bagian *groundplane* [25]. Pendekatan ini ditentukan dengan geometri ukuran unit sel dan merupakan suatu bentuk bangun datar yang diletakkan pada lapisan *ground plane*. Tujuan dilakukan pendekatan ini adalah menghentikan gelombang elektromagnetik pada layer substrat sepanjang frekuensi yang beroperasi pada antena [26]. Biasanya penggunaan DGS digunakan untuk meningkatkan *bandwidth* dan *gain* antena agar sesuai dengan nilai yang diinginkan. DGS dapat disesuaikan dan memiliki bentuk dan ukuran yang berbeda-beda, diantaranya *concentric rings*, *square*, *spiral*, persegi Panjang dan bentuk- bentuk *dumbbell* dengan berbagai bentuk kepala *dumbbell* dan dapat dilihat pada Gambar 2.7 [27].



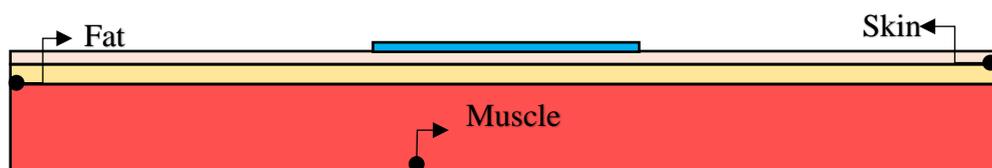
Gambar 2.7 Macam-macam bentuk DGS [27]

2.2.8 *Specific Absorption Rate (SAR)*

Specific Absorption Rate (SAR) adalah suatu variabel yang digunakan untuk mengetahui besarnya daya elektromagnetik yang diserap oleh tubuh manusia saat berada di dekat perangkat RF. Nilai SAR berdasarkan rata-rata dari seluruh tubuh, atau setara dengan volume sampel kecil (biasanya 1 g jaringan untuk standar Amerika atau 10 g jaringan untuk standar Eropa). Menurut Federal Communication Commission dan IEEE, nilai SAR tidak boleh lebih dari 1.6 W/kg untuk standar Amerika [28]. Maksud dari 1.6 W/kg SAR adalah penyerapan energi elektromagnetik maksimal yang diperbolehkan adalah sebesar 1.6 Watt untuk setiap 1 kg massa tubuh. Sedangkan menurut standar International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), nilai SAR maksimum sebesar 2 W/kg untuk standar Eropa [29].

2.2.9 *Phantom*

Phantom dapat didefinisikan sebagai suatu bentuk pemodelan fisik tubuh manusia untuk mensimulasikan karakteristik jaringan biologis. Tujuan dari phantom adalah mengganti model tubuh manusia yang sebenarnya saat simulasi dan mengeksplorasi interaksi antara jaringan manusia dengan medan elektromagnetik [30]. Sampai saat ini, phantom telah digunakan secara luas dalam penelitian medis tentang efek radiasi elektromagnetik terhadap kesehatan. Adapun Gambar 2.8 menunjukkan bagian lapisan phantom. Pada penelitian ini *phantom* yang digunakan adalah *phantom* dada yang terdiri dari skin, fat, muscle. Lapisan skin memiliki ketebalan 3 mm, fat 3 mm, dan muscle 20 mm.



Gambar 2.8 Lapisan *Phantom*