

## Perancangan antenna mikrostrip *rectangular* menggunakan dielektrik artifisial akrilik untuk *transceiver* GSM

Hepi Ludiyati<sup>1\*</sup>, Yuliana Nur Rahmawati<sup>2</sup>, Tiara Septiany Persada<sup>3</sup>,  
Dandi Taufiqurrohman<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat, Indonesia

<sup>1\*</sup>hepi.ludiyati@polban.ac.id, <sup>2</sup>yuliana.nur.tcom417@polban.ac.id, <sup>3</sup>tiara.septiany.tcom417@polban.ac.id,

<sup>4</sup>dandi.taufiqurrohman.tcom418@polban.ac.id

### ABSTRAK

Antena memiliki peranan penting sebagai penyesuai impedansi serta perangkat yang dapat menerima maupun mengirim gelombang elektromagnetik. Saat ini antenna mikrostrip adalah antenna yang populer digunakan untuk komunikasi bergerak karena memiliki keunggulan yaitu berdimensi kecil dan berbobot ringan dibandingkan dengan antenna *dipole* pada umumnya. Namun, terdapat beberapa kelemahan dari antenna mikrostrip yaitu *bandwidth* yang sempit dan *gain* yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perancangan antenna mikrostrip yang memiliki frekuensi kerja 1800 Mhz, *bandwidth* minimal 90 Mhz, *gain* minimal 3dBi, serta polarisasi yang melingkar dengan memanfaatkan akrilik sebagai substrat. Penggunaan akrilik sebagai substrat bertujuan agar antenna memiliki sifat kamuflase. Akrilik yang digunakan dimodifikasi menjadi material dielektrik artifisial dengan menyisipkan strip-strip konduktor diantara substratnya untuk meningkatkan nilai permitivitas dari *host* material. Dari hasil simulasi menggunakan simulator CST Studio 2018 didapatkan antenna yang dirancang memiliki *bandwidth* 132,7 MHz, *return loss* 27,638 dB, VSWR 1,0866, *gain* 8,436 dBi, dan polarisasi melingkar dengan *axial ratio* mendekati 1.

**Kata kunci:** antenna mikrostrip 1800 MHz, *transceiver* GSM, dielektrik artifisial, substrat akrilik, polarisasi lingkaran

### ABSTRACT

*Antennas have an important role as impedance adjusters and devices that can receive and transmit electromagnetic waves. Currently, microstrip antennas are popular antennas used for mobile communications because they have the advantage of being small in dimensions and light in weight compared to dipole antennas in general. However, there are several disadvantages of microstrip antennas, namely narrow bandwidth and low gain. This study aims to design a microstrip antenna that has a working frequency of 1800 Mhz, a minimum bandwidth of 90 Mhz, a minimum gain of 3dBi, and circular polarization using acrylic as a substrate. The use of acrylic as a substrate aims to make the antenna have camouflage properties. The acrylic used is modified into an artificial dielectric material by inserting conductor strips between the substrate to increase the permittivity value of the host material. From the simulation results using the CST Studio 2018 simulator, it is found that the antenna is designed to have a bandwidth of 132.7 MHz, a return loss of 27.638 dB, VSWR 1.0866, a gain of 8.436 dBi, and circular polarization with an axial ratio close to 1.*

**Keywords:** 1800 MHz microstrip antenna, GSM transceiver, artificial dielectric, acrylic substrate, circle polarization

## 1. PENDAHULUAN

*Global system for mobile communications* (GSM) merupakan jaringan seluler digital yang banyak diterapkan pada komunikasi bergerak seperti telepon genggam. Pada komunikasi bergerak, antenna berperan sebagai penyesuai impedansi antara impedansi saluran dan impedansi ruang bebas. Antenna juga berperan serta perangkat yang dapat menerima maupun mengirim gelombang elektromagnetik. Hal tersebut menunjukkan bahwa antenna merupakan salah satu elemen penting pada sistem komunikasi tanpa kabel (*wireless*) [1].

Antena mikrostrip adalah salah satu jenis antena yang populer digunakan untuk komunikasi bergerak. Selain memiliki struktur yang sederhana, antena mikrostrip memiliki beberapa keunggulan lainnya yaitu memiliki massa ringan, *low profile*, dan *conformal* [2]. Namun, terdapat beberapa kelemahan dari antena mikrostrip yaitu *bandwidth* yang sempit dan *gain* yang rendah. Selain itu, antena mikrostrip pada umumnya memiliki polarisasi linier yang mana hanya dapat menangkap gelombang dari satu arah saja. Antena mikrostrip konvensional pada umumnya menggunakan material dielektrik natural sebagai substratnya. Material dielektrik natural yang diproduksi melalui proses kimiawi memiliki permitivitas yang rendah. Dengan demikian, material dielektrik artifisial dapat digunakan sebagai salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Terdapat beberapa literatur dari para peneliti mengenai material dielektrik artifisial, seperti pada penelitian [3]-[8]. Berbeda dengan material dielektrik natural, material dielektrik artifisial dibuat dengan proses elektromagnetisasi, yaitu memodifikasi sifat-sifat elektromagnetis dari material dielektrik natural. Dengan proses elektromagnetisasi, nilai permitivitas material dapat berubah sehingga menghasilkan material dielektrik yang baru. Proses elektromagnetisasi dapat dilakukan dengan cara melaminasi strip-strip konduktor persegi tipis di atas permukaan *host material*. Sifat permitivitas dari material dielektrik artifisial juga dapat dipengaruhi oleh ukuran, jarak, dan orientasi antar strip konduktor.

Terdapat pula penelitian sebelumnya mengenai pemanfaatan akrilik sebagai substrat antena mikrostrip. *Base transceiver station* (BTS) mini telah dibuat menggunakan antena mikrostrip *patch* lingkaran artifisial dengan pencatuan *proximity coupling* untuk mendapatkan *bandwidth* yang lebih lebar. Dari hasil pengukuran diperoleh bahwa antena mikrostrip artifisial dengan pencatuan *proximity coupling* dengan frekuensi kerja 1800 MHz menghasilkan *bandwidth* 168,6MHz dan memiliki dimensi lebih kecil 11,11% dibandingkan dengan antena mikrostrip konvensional yang digunakan untuk BTS pada umumnya [9]. Kemudian penelitian selanjutnya dimana telah dibuat antena mikrostrip sebagai kamuflase antena pada frekuensi GSM 1800 MHz. Pada penelitian ini dihasilkan antena direksional yang memiliki *return loss* 24,5 dB, *bandwidth* 33,5 MHz, polarisasi unidireksional, dan juga *gain* 5 dBi [10]. Dari beberapa penelitian tersebut di atas, dapat disimpulkan bahwa akrilik dapat digunakan sebagai substrat antena mikrostrip.

Penelitian ini bertujuan untuk melihat kebermanfaatan akrilik sebagai substrat antena mikrostrip agar menghasilkan antena mikrostrip yang berdimensi lebih tipis dan memiliki sifat kamuflase. Dengan sifat kamuflase ini antena dapat dimanfaatkan sebagai *transceiver* GSM, seperti untuk aplikasi sistem keamanan komunikasi kepolisian. Akrilik yang digunakan dimodifikasi menjadi material dielektrik artifisial dengan menyisipkan strip-strip konduktor diantara substratnya untuk meningkatkan nilai permitivitas dari *host material*.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Rancangan Antena Mikrostrip

Pada penelitian ini, terdapat dua antena yang dibuat yaitu antena mikrostrip konvensional sebagai pembanding dan antena mikrostrip artifisial sebagai antena utama. Perhitungan yang dilakukan didasarkan pada perhitungan dimensi antena mikrostrip *single patch* konvensional. Kemudian antena mikrostrip disimulasikan menggunakan simulator CST Studio Suite 2018. Kedua antena tersebut disimulasikan dan dioptimasi hingga mencapai hasil parameter yang maksimal.

Antena mikrostrip yang dirancang memiliki tiga lapisan substrat dari bahan akrilik yang ketebalannya 1 mm dengan permitivitas relatifnya adalah 3,4. Kemudian untuk bahan *patch* dan *groundplane*, pencatuan menggunakan tembaga yang ketebalannya 0,1 mm. Antara lapisan substrat pertama dan kedua disisipkan strip artifisial menggunakan tembaga yang ketebalannya 0,1 mm dengan permitivitas relatifnya adalah 1. Begitu pula diantara lapisan substrat kedua dan ketiga. Antena mikrostrip ini menggunakan *patch rectangular* dengan metode pencatuan *proximity coupling*. Terdapat penambahan metode pertubasi yaitu pemotongan pada ujung *patch* agar menghasilkan polarisasi lingkaran.

Adapun parameter antena yang hendak dicapai dari perancangan antena mikrostrip menggunakan dielektrik artifisial akrilik tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter antenna mikrostrip

Parameter	Keterangan
Frekuensi kerja	1800 MHz
Bandwidth	$\geq 90$ MHz
Return Loss	$\geq 10$ dB
VSWR	$1 \leq \text{VSWR} \leq 2$
Gain	$\geq 3$ dBi
Axial ratio	$1 \leq \text{Axial ratio} \leq 2$ atau mendekati 0 dB

## 2.2 Tahapan Perancangan

Tahapan perancangan yang dilakukan yaitu membuat antenna mikrostrip *single patch* kemudian digandakan menjadi antenna mikrostrip *array* dengan jarak antar *patch* yaitu  $\lambda_0/2$  dan titik tengah *patch* sebagai pusatnya. Berikut merupakan persamaan matematik yang digunakan untuk mengetahui ukuran dari *single patch* antenna mikrostrip [8].

Persamaan (1) merupakan persamaan untuk menghitung lebar dari *patch* antenna.

$$Wp = \frac{c}{2fr\sqrt{\frac{\epsilon_r+1}{2}}} \quad (1)$$

dengan  $Wp$  adalah lebar *patch*,  $c$  adalah kecepatan cahaya,  $fr$  adalah frekuensi resonansi, dan  $\epsilon_r$  adalah konstanta dielektrik.

Persamaan (2) merupakan persamaan untuk menghitung panjang dari *patch* antenna.

$$Lp = \frac{c}{2fr\sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2 \times \Delta L \quad (2)$$

dimana

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1+\frac{12h}{W}}} \right) \quad (3)$$

$$\Delta L = 0,412h \left[ \frac{(\epsilon_{reff}+0,3)\left(\frac{W}{h}+0,264\right)}{(\epsilon_{reff}-0,258)\left(\frac{W}{h}+0,8\right)} \right] \quad (4)$$

dengan  $Lp$  adalah panjang *patch*,  $\epsilon_{reff}$  adalah konstanta dielektrik efektif,  $\Delta L$  adalah pertambahan nilai  $L$ ,  $h$  adalah tebal substrat, dan  $W$  adalah lebar *patch*.

Persamaan (5) merupakan persamaan untuk menghitung lebar *groundplane* dan substrat antenna ( $W_g$ ), sedangkan persamaan (6) merupakan persamaan untuk menghitung panjang *groundplane* dan substrat antenna ( $L_g$ ).

$$W_g = 6h + W_p \quad (5)$$

$$L_g = 6h + L_p + L_f \quad (6)$$

dengan  $L_f$  adalah panjang saluran.

Persamaan (7) merupakan persamaan untuk menghitung lebar saluran mikrostrip 50 Ohm ( $W_f$ ).

$$W_f = \frac{2h}{\pi} \left[ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r-1}{2\epsilon_r} \left( \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right) \right] \quad (7)$$

dimana

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (8)$$

dengan  $Z_0$  adalah impedansi saluran.

Persamaan (9) merupakan persamaan untuk menghitung panjang saluran mikrostrip 50 Ohm.

$$L_f = \frac{1}{4} \lambda_g \tag{9}$$

dimana

$$\lambda_g = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \tag{10}$$

$$\lambda_o = \frac{c}{f} \tag{11}$$

dengan  $\lambda_g$  adalah panjang gelombang *guide* pada saluran dan  $\lambda_o$  adalah panjang gelombang.

Untuk menghasilkan polasisari lingkaran pada antenna mikrostrip persegi maka dibutuhkan pemotongan pada sudut persegi secara melintang sebesar  $45^\circ$  pada bagian *patch* antenna. Pertubasi ini akan berbentuk segitiga siku-siku sama kaki dengan kedua sisi x dan y yang sama panjang. Persamaan (12) merupakan persamaan untuk menghitung ukuran pertubasi [9].

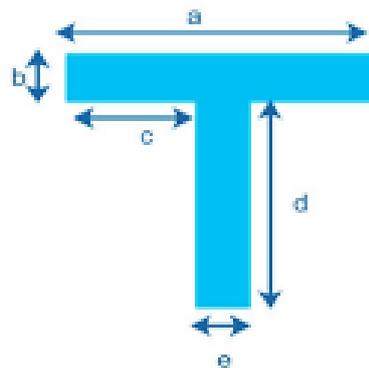
$$x = y = \frac{1}{2} \times \sqrt{2} \times r \tag{12}$$

dimana

$$r = \frac{1}{4} L_p \tag{13}$$

dengan r adalah sisi miring, x adalah sisi depan, dan y adalah sisi samping.

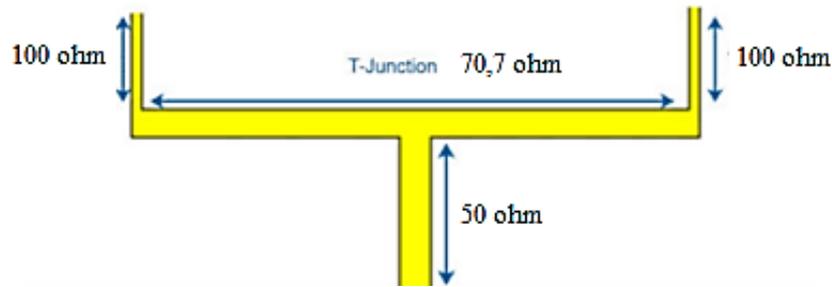
Penambahan *T-slot* pada antenna mikrostrip bertujuan untuk meningkatkan *bandwidth* antenna elemen tunggal. Dimensi dari *T-slot* ini dipengaruhi oleh frekuensi kerja antenna. Gambar 1 merupakan desain *T-slot* dan persamaan (14) merupakan persamaan untuk menghitung ukuran *T-slot* [9]:



Gambar 1. Desain *T-slot*

$$a = \frac{0,2\lambda_g}{2}, b = \frac{0,05\lambda_g}{2}, c = \frac{0,078\lambda_g}{2}, d = \frac{0,125\lambda_g}{2}, e = \frac{0,05\lambda_g}{2} \tag{14}$$

Kemudian antenna ditambahkan *T-junction* sebagai penyesuai impedansi untuk menjadikan antenna mikrostrip *array* seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk mengetahui ukuran dari *T-junction* antenna mikrostrip [10].



**Gambar 2. Saluran pencatu *T-Junction***

Persamaan (15) merupakan persamaan untuk menghitung lebar saluran pencatutan 100 Ohm ( $W_{100}$ ).

$$W_{100} = \frac{2h}{\pi} \left[ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left( \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right) \right] \quad (15)$$

Persamaan (16) merupakan persamaan untuk menghitung panjang saluran pencatutan 100 ohm ( $L_{100}$ ).

$$L_{100} = \frac{1}{4} \lambda_g \quad (16)$$

Nilai impedansi saluran pencatu *T-junction* ( $Z_T$ ) didapatkan dengan persamaan (17) di bawah ini.

$$Z_T = \sqrt{Z_{100} \times Z_{50}} \quad (17)$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai impedansi saluran pencatu *T-slot* adalah 70,7 Ohm.

Persamaan (18) merupakan persamaan untuk menghitung lebar saluran pencatutan 70,7 Ohm ( $W_{70,7}$ ).

$$W_{70,7} = \frac{2h}{\pi} \left[ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left( \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right) \right] \quad (18)$$

Persamaan (19) merupakan persamaan untuk menghitung panjang saluran pencatutan 70,7 Ohm ( $L_{70,7}$ ).

$$L_{70,7} = \frac{1}{2} \lambda_0 \quad (24)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan hasil simulasi dari antenna yang telah dirancang. Hasil simulasi ini merupakan hasil optimasi untuk mendapatkan nilai parameter yang maksimum. Tabel 2 merupakan hasil optimasi ukuran antenna konvensional dan artifisial yang diprancang pada penelitian ini.

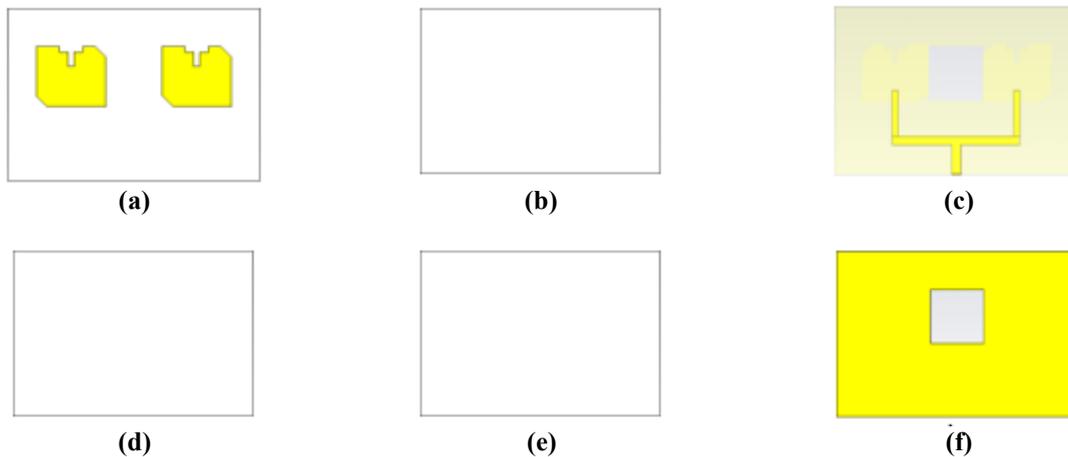
**Tabel 2. Ukuran antenna mikrostrip konvensional**

Simbol	Keterangan	Nilai (mm)	
		Konvensional	Artifisial
hs	Total tebal substrat	3	3
t	Tebal tembaga ( <i>patch, groundplane, strip artifisial, pencatu</i> )	0,1	0,1
Wp	Lebar <i>patch</i>	50	48
Lp	Panjang <i>patch</i>	43,05	44,82
Wg	Lebar substrat dan <i>groundplane</i>	180	168,63
Lg	Panjang substrat dan <i>groundplane</i>	124	118,6

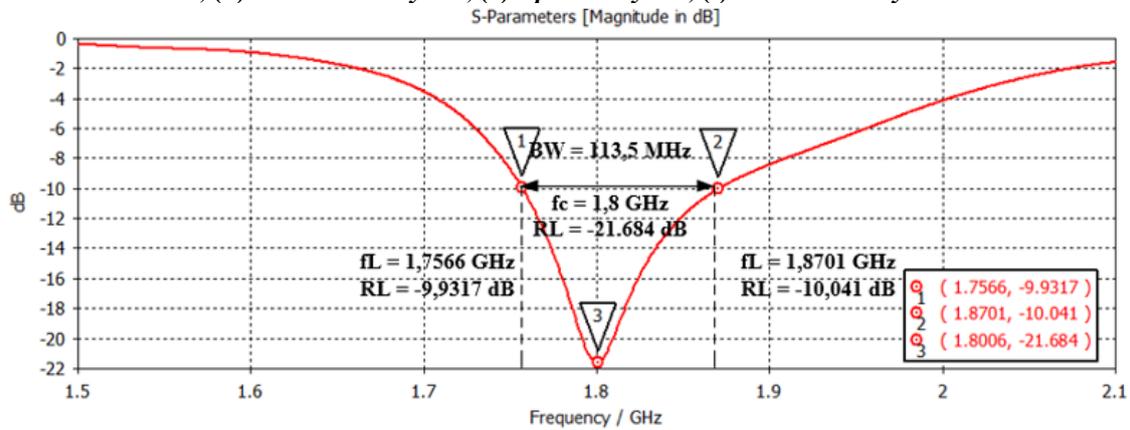
#### 3.1 Hasil Simulasi Antena Konvensional

Gambar 3 merupakan antenna yang dirancang yang memiliki tiga *layer* dimana pada *top view layer* 1 merupakan *patch* antenna. Kemudian pada *top view layer* 2 merupakan pencatutan antenna dimana pencatutan yang digunakan adalah *proximity coupling*. Lalu pada *bottom view layer* 3 merupakan

*groundplane*. Pada antenna konvensional ini tidak ada penambahan strip-strip konduktor tipis. Antena ini akan digunakan sebagai antenna pembanding. Gambar 4 menunjukkan kurva S-Parameter antenna mikrostrip konvensional.

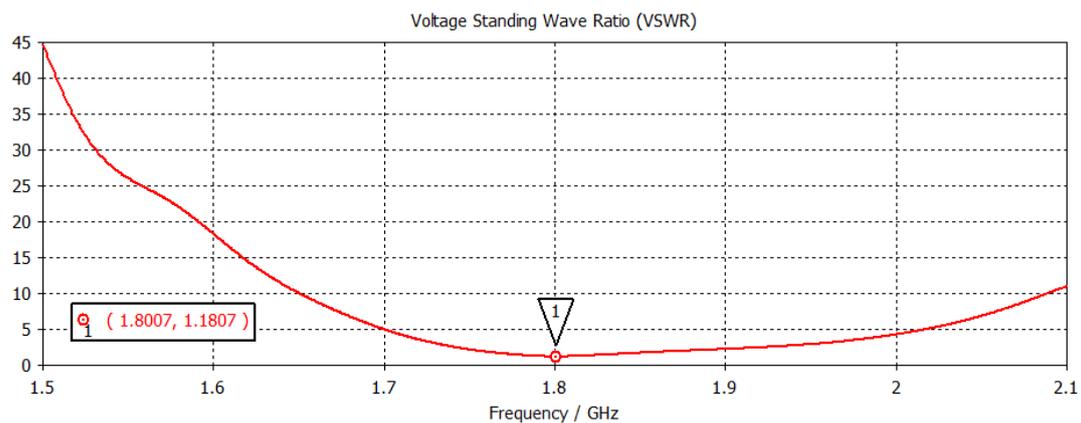


**Gambar 3.** Rancangan antenna konvensional: (a) *top view layer 1*, (b) *bottom view layer 1*, (c) *top view layer 2*, (d) *bottom view layer 2*, (e) *top view layer 3*, (f) *bottom view layer 3*



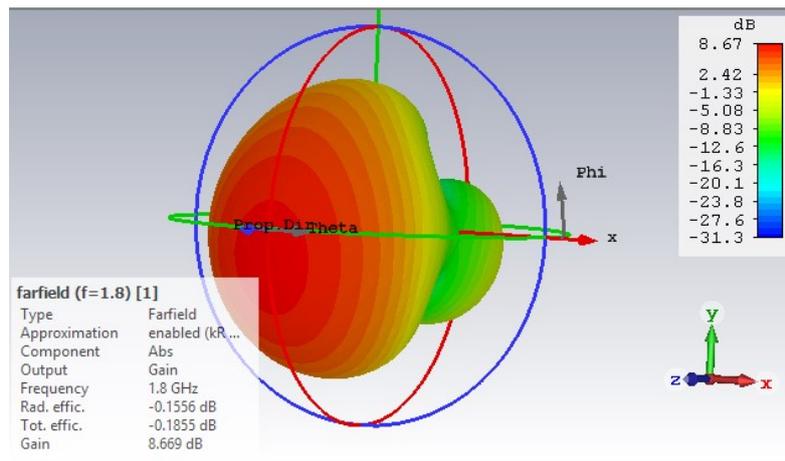
**Gambar 4.** Kurva S-Parameter antenna mikrostrip konvensional

Berdasarkan kurva S-Parameter yang ditunjukkan pada Gambar 4, antenna konvensional yang dihasilkan memiliki frekuensi tengah 1800 MHz dengan *return loss* 21,684 dB. Didapatkan *bandwidth* sebesar 113,5 MHz dengan frekuensi batas bawah 1756,6 MHz dan frekuensi batas atas 1870,1 MHz dimana keduanya memiliki *return loss* 10 dB. Berdasarkan hasil tersebut, parameter antenna mikrostrip konvensional telah memenuhi parameter yang diharapkan.



**Gambar 5.** Kurva VSWR antenna mikrostrip konvensional

Kurva pada Gambar 5 menunjukkan VSWR dari antenna mikrostrip konvensional dengan nilai VSWR pada frekuensi 1800 MHz yaitu 1,1807. Nilai tersebut menunjukkan VSWR antenna mikrostrip konvensional telah memenuhi target yaitu  $1 \leq \text{VSWR} \leq 2$ .

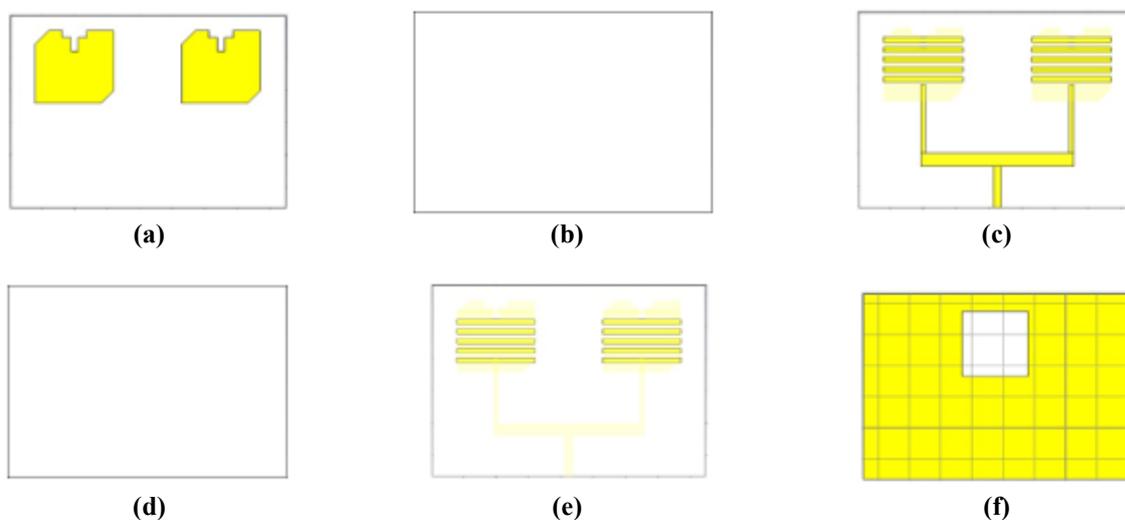


**Gambar 6. Pola radiasi antenna mikrostrip konvensional**

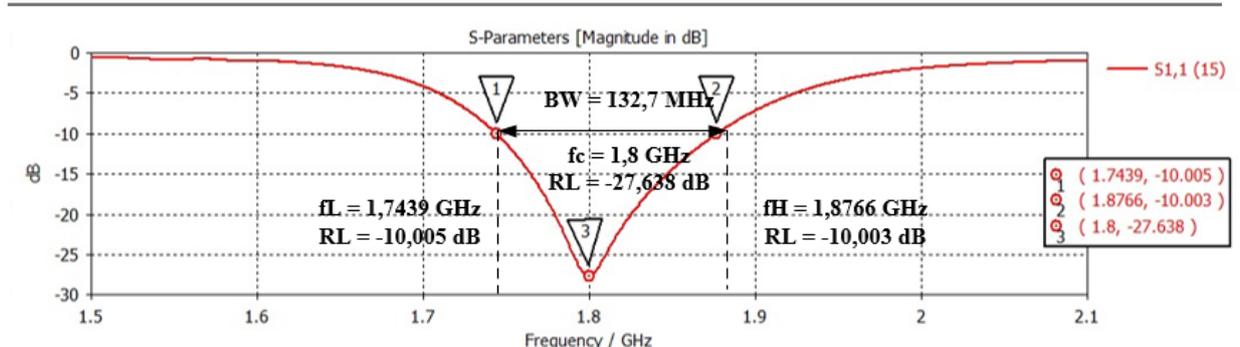
Gambar 6 menunjukkan pola radiasi antenna mikrostrip konvensional. *Gain* yang dihasilkan dari antenna ini bernilai 8,669 dBi. *Gain* tersebut telah sesuai dengan parameter yang diharapkan yaitu lebih dari 3 dBi. Dari informasi nilai medan listrik sumbu X dan sumbu Y, didapatkan *axial ratio* sebesar 1,003 dan *axial ratio* (dB) sebesar 0,004. Nilai tersebut menunjukkan bahwa antenna mikrostrip konvensional memiliki polarisasi lingkaran karena *axial ratio* bernilai mendekati 1 atau 0 dB.

### 3.2 Hasil Simulasi Antena Artifisial

Gambar 7 merupakan desain antenna mikrostrip artifisial. Pada *top view layer 1* merupakan *patch* antenna. Pada *top view layer 2* merupakan pencatutan dan penambahan strip konduktor tipis sebanyak 5 buah yang disusun secara horizontal. Strip konduktor ini memiliki lebar 3 mm dan panjang menyesuaikan ukuran *patch* ( $W_p$ ). Pada *top view layer 3* disisipkan pula strip konduktor tipis sebanyak 5 buah yang disusun secara horizontal. Ukuran strip konduktor ini sama seperti pada *layer 2*. Pada *bottom view layer 3* merupakan *groundplane* dengan ukuran panjang dan lebar yang sama dengan substrat.

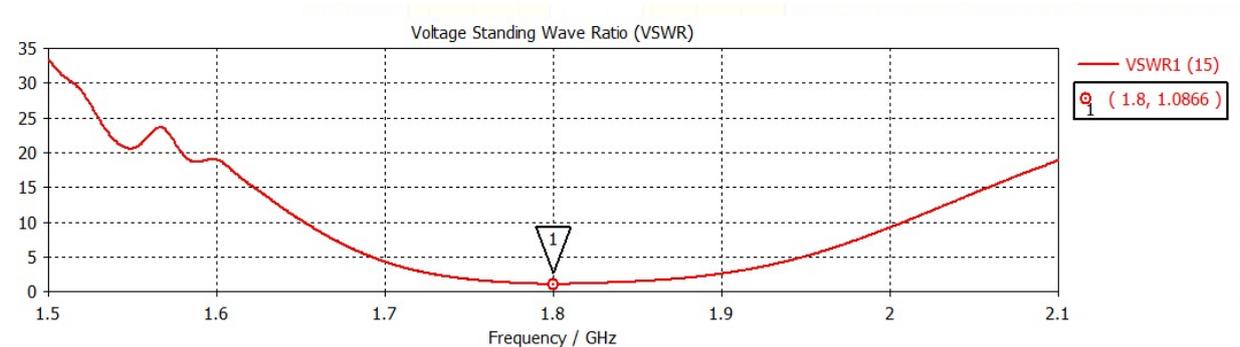


**Gambar 7. Rancangan antenna artifisial: (a) top view layer 1, (b) bottom view layer 1, (c) top view layer 2, (d) bottom view layer 2, (e) top view layer 3, (f) bottom view layer 3**



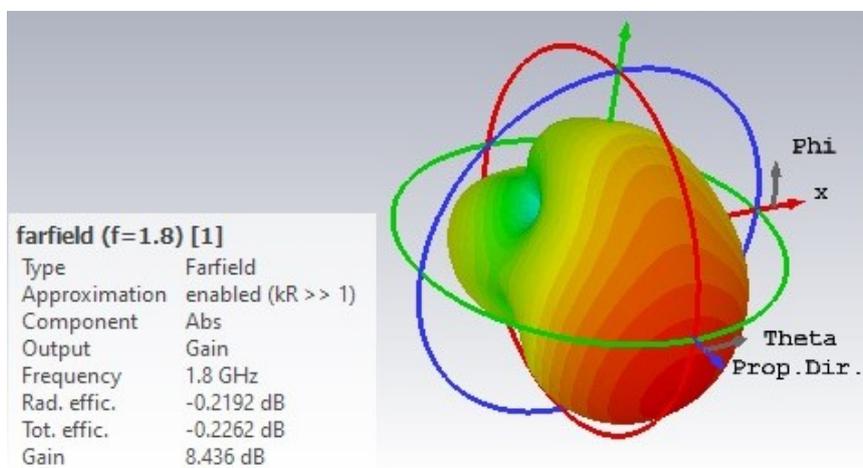
**Gambar 8. Kurva S-Parameter antenna mikrostrip artifisial**

Kurva S-Parameter yang ditunjukkan pada Gambar 8 menunjukkan antenna mikrostrip artifisial yang dihasilkan memiliki frekuensi tengah 1800 MHz dengan *return loss* 27,638 dB. Didapatkan *bandwidth* sebesar 132,7 MHz dengan frekuensi batas bawah 1743,9 MHz dan frekuensi batas atas 1876,6 MHz dimana keduanya memiliki *return loss* 10 dB. Berdasarkan hasil tersebut, parameter antenna mikrostrip konvensional telah memenuhi parameter yang diharapkan. Metode penyisipan strip konduktor secara horizontal ini dapat meningkatkan *return loss* dan *bandwidth* antenna.



**Gambar 9. Kurva VSWR antenna mikrostrip artifisial**

Kurva pada Gambar 9 menunjukkan VSWR dari antenna mikrostrip artifisial dengan nilai VSWR pada frekuensi 1800 MHz yaitu 1,0866. Nilai tersebut menunjukkan VSWR antenna mikrostrip artifisial telah memenuhi target yaitu  $1 \leq VSWR \leq 2$ .



**Gambar 10. Pola radiasi antenna mikrostrip artifisial**

Gambar 10 menunjukkan pola radiasi antenna mikrostrip konvensional. *Gain* yang dihasilkan dari antenna ini bernilai 8,436 dBi. *Gain* tersebut telah sesuai dengan parameter yang diharapkan yaitu lebih

dari 3 dBi. Dari informasi nilai medan listrik sumbu X dan sumbu Y, didapatkan *axial ratio* sebesar 1,003 dan *axial ratio* (dB) sebesar 0,004. Nilai tersebut menunjukkan bahwa antenna mikrostrip konvensional memiliki polarisasi lingkaran karena *axial ratio* bernilai mendekati 1 atau 0 dB. Nilai tersebut menunjukkan bahwa antenna mikrostrip artifisial memiliki polarisasi lingkaran karena *axial ratio* bernilai mendekati 1 atau 0 dB. Nilai *axial ratio* ini dipengaruhi oleh metode pertubasi yang diterapkan pada antenna mikrostrip *rectangular*.

Tabel 3 menunjukkan perbandingan antenna mikrostrip konvensional dan artifisial yang telah dirancang pada penelitian ini. Berdasarkan hasil perbandingan dapat disimpulkan bahwa antenna mikrostrip artifisial memiliki keunggulan dalam hal *bandwidth* dan *return loss*. Selain itu, keduanya memiliki polarisasi lingkaran dengan nilai *axial ratio* mendekati 1.

**Tabel 3. Perbandingan antenna mikrostrip konvensional dan artifisial**

Parameter	Antena mikrostrip konvensional	Antena mikrostrip artifisial
<i>Bandwidth</i>	113,5 MHz	132,7 MHz
% BW	6,3 %	7,37 %
<i>Return Loss</i>	21,646 dB	27,638 dB
VSWR	1,1807	1,0866
<i>Gain</i>	8,669 dBi	8,436 dBi
<i>Axial ratio</i>	1,003	1,003
Dimensi	180 x 124 mm	168 x 118 mm

#### 4. KESIMPULAN

Antena mikrostrip *rectangular* dengan akrilik sebagai artifisial dielektrik telah dirancang pada penelitian ini. Berdasarkan hasil simulasi antenna mikrostrip ini dapat disimpulkan baik antenna konvensional maupun artifisial dapat bekerja pada frekuensi 1800 MHz. Namun, antenna mikrostrip artifisial memiliki kinerja yang lebih baik dari segi *bandwidth* dan *return loss* yang lebih besar dibandingkan antenna konvensional. Kedua antenna baik konvensional maupun artifisial telah memiliki polarisasi lingkaran dengan nilai *axial ratio* mendekati 1. Antara antenna konvensional dan artifisial memiliki *gain* yang tidak jauh berbeda. Parameter-parameter yang didapatkan telah memenuhi target yang diinginkan. Untuk penelitian selanjutnya, dapat dikembangkan beberapa hal seperti menggunakan jenis *patch* lain, metode pencatutan lain, serta jenis material dielektrik yang lain sebagai bahan perbandingan.

#### REFERENSI

- [1] A. A. Shifa, I. Wulani, Y. S. Azzahra, and H. Ludiyati, "Realisasi Antena Mikrostrip Persegi Satu Elemen untuk Aplikasi LTE Menggunakan Material Dielektrik Anisotropik Pada Frekuensi 1,8 GHz," in *Prosiding 11th Industrial Research Workshop and National Seminar (IRWNS)*, vol. 11, Bandung, 2020, pp. 630-636.
- [2] H. Ludiyati, E. Elisma, W. Pardosi, and N. Nurfiana, "Analisa Karakteristik Antena Mikrostrip Lingkaran Berbahan Substrat Material Dielektrik Artifisial pada Frekuensi 1800MHz," in *SENTER : Seminar Nasional Teknik Elektro*, 2018, pp. 276-283.
- [3] D. Cavallo and C. Felita, "Analytical formulas for artificial dielectrics with nonaligned layers," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 10, pp. 5303-5311, 2017.
- [4] A. V. Katwijk and D. Cavallo, "Analysis and design of connected slot arrays with artificial dielectrics," in *2019 IEEE International Symposium on Phased Array System & Technology (PAST)*, 2019, pp. 1-5.
- [5] D. Cavallo, W. H. Syed, and A. Neto, "Connected-slot array with artificial dielectrics: A 6 to 15 GHz dual-pol wide-scan prototype," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 66, no. 6, pp. 3201-3206, 2018.
- [6] P. I. Dankov, "Uniaxial anisotropy estimation of the modern artificial dielectrics for antenna applications," in *2017 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications (IMWS-AMP)*, 2017, pp. 1-3.
- [7] J. R. McGhee, T. Whittaker, J. Moriarty, J. Northedge, S. Zhang, D. Cadman, and J. Y. Vardaxoglou, "Fabrication of artificial dielectrics via stereolithography based 3D-printing," in *2020 14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, 2020, pp. 1-5.
- [8] W. Mazhar, D. M. Klymyshyn, G. Wells, A. A. Qureshi, M. Jacobs, and S. Achenbach, "Low-profile artificial grid dielectric resonator antenna arrays for mm-wave applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 67, no. 7, pp. 4406-4417, 2019.

- [9] H. Ludyati and D. Farahiyah, "Realisasi Antena BTS Mini 1800MHz Menggunakan Antena Mikrostrip Lingkaran Artifisial dengan Pencatuan Proximity Coupling dan Mode Gelombang TM<sub>01</sub>," *10th Industrial Research Workshop and National Seminar (IRWNS)*, vol. 10, Bandung, 2019, pp. 379-386.
- [10] A. N. Diastary, H. Ludyati and D. Saefudin, "Kamuflase Antena pada Frekuensi GSM 1800 MHz Berbahan Substrat Akrilik," *Prosiding 11th Industrial Research Workshop and National Seminar (IRWNS)*, Vols. 11, No.1, pp. 601-606, 2020.