

# Kamuflase Antena pada Frekuensi GSM 1800 MHz Berbahan Substrat Akrilik

Adriani Nurul Diastary<sup>1</sup>, Hepi Ludyati<sup>2</sup>, Didin Saefudin<sup>3</sup>

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

E-mail : <sup>1</sup>adriani.nurul.tcom416@polban.ac.id, <sup>2</sup>hepi.ludyati@polban.ac.id, <sup>3</sup>saedien@gmail.com

## ABSTRAK

Antena mikrostrip termasuk antena yang populer dimana memiliki keunggulan dalam hal kompatibel dan mudah diintegrasikan. Hal mendasar lainnya dari antena mikrostrip yaitu dimensi dan fabrikasinya yang ringan. Segala bidang membutuhkan antena sebagai sarana komunikasi tanpa terkecuali pada kepolisian yang mana lembaga masyarakat tersebut membutuhkan antena untuk komunikasi dengan sifat rahasia, terkendali namun tidak menarik perhatian oknum-oknum jahat. Pada tulisan ini telah didesain dan disimulasikan sebuah antena mikrostrip berkonsep kamuflase karena menggunakan media substrat akrilik yang efisien dan ekonomis, serta bernilai seni dengan *patch* segiempat untuk digunakan intelejen kepolisian dimana bahan akrilik itu sendiri tidak umum digunakan sebagai bahan antena yang mana dapat berkamuflase dengan lingkungan sekitar. Perancangan antena disimulasikan dengan menggunakan *software CST Studio Suite* dengan teknik pencatutan *Insert Feed*. Melalui pendekatan simulasi, antena jenis mikrostrip yang merupakan antena direksional yang memiliki polarisasi linier ini telah mendapatkan nilai-nilai parameter berupa *return loss* sebesar 24.5 dB, *bandwidth* 33.5 MHz, polarisasi unidireksional, dan juga *gain*  $\geq 3$  dBi yaitu diangka 5 dBi. Frekuensi kerja bergeser tidak lebih dari 5%.

## Kata Kunci

Kamuflase Antena, *Patch* Segiempat, Substrat Akrilik, Mikrostrip

## 1. PENDAHULUAN

Teknologi informasi dan komunikasi pada saat ini telah berkembang pesat. Semakin berkembangnya teknologi semakin berkembang pula kejahatan yang mengalir di kalangan masyarakat biasa bahkan kejahatan pun bisa menargetkan kepolisian yang berperan dan bertugas sebagai perisai masyarakat. Hadirnya berbagai kejahatan saat ini menitik beratkan pada kecanggihan teknologi seperti adanya pencurian dana di kartu kredit, *hacking* terhadap berbagai situs, penyadapan transmisi data orang lain seperti *email*, manipulasi data dengan cara menyiapkan perintah yang tidak dikehendaki, dan juga maraknya pencurian-pencurian konvensional. Pada situasi tertentu hal ini tentu saja menciptakan hambatan dalam pelaksanaan tugas bidang komunikasi di kepolisian jika hal-hal tersebut terjadi di markas kepolisian. Hambatan-hambatan inilah yang menjadi gagasan untuk memperbaiki sistem komunikasi pada kepolisian terutama alat-alat yang digunakan untuk saling berkomunikasi antar kepolisian yang sifatnya rahasia dan terjaga [1].

Kejahatan-kejahatan seperti yang telah disebutkan bisa saja terjadi di kepolisian yang mana kejahatan yang digaris bawahi berkaitan dengan penggunaan antena yang berperan penting sebagai alat komunikasi. Kepolisian Negara Republik Indonesia

atau yang sering disingkat dengan Polri dalam kaitannya dengan pemerintah di Negara Kesatuan Republik Indonesia adalah salah satu fungsi pemerintahan negara dibidang pemeliharaan keamanan dan ketertiban masyarakat, penegak hukum yang melindungi, mengayomi, dan melayani masyarakat. Sudah sewajarnya bila lingkungan kepolisian merupakan area yang aman serta data-data di dalam kepolisian baik itu data komunikasi ataupun informasi keamanan haruslah terjaga dengan baik dan rahasia. Namun pada kenyataannya, ada beberapa aspek dalam kepolisian yang nyatanya masih dengan mudah terbaca oleh penjahat. Maka perlu dipikirkan bagaimana cara untuk menanggulangi permasalahan tersebut yang mana hasilnya dapat berguna untuk kepolisian. Salah satu alat penting yang digunakan oleh pihak kepolisian adalah antena.

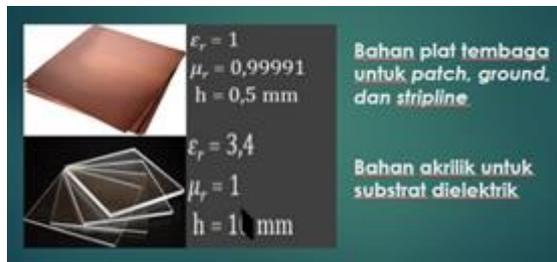
Antena itu sendiri adalah perangkat yang mempunyai peranan sangat penting dalam sistem komunikasi. Antena merupakan daerah transisi antara saluran transmisi dan ruang bebas, sehingga antena berfungsi sebagai pemancar atau penerima gelombang elektromagnetik [2]. Dalam kepolisian, antena yang digunakan yaitu antena dipole ataupun monopole yang mana antena-antena tersebut sangat terlihat dan menonjol sehingga siapapun bisa merusak, mencuri bahkan memainkan dan

memanipulasi proses transmisi sehingga tidak ada lagi keamanan, kerahasiaan yang terjaga dalam kepolisian. Hadirnya kasus seperti ini menjadi gagasan serta landasan utama untuk membuat alat berupa kamuflase antenna menggunakan antenna jenis mikrostrip yang mana sangat berguna dalam bidang kepolisian.

## 2. PEMBAHASAN

**2.1. Material Dielektrik Artifisial yang Diusulkan**  
Dielektrik adalah suatu bahan isolator yang biasanya berfungsi sebagai penyekat. Dielektrik biasa digunakan untuk meningkatkan kapasitansi. Sedangkan material dielektrik artifisial merupakan material dielektrik buatan yang memiliki nilai permitivitas dan permeabilitas di luar nilai-nilai permitivitas dan permeabilitas material dielektrik konvensional [3].

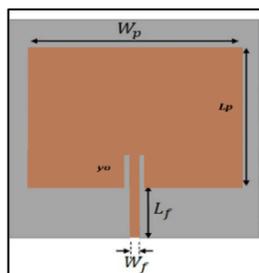
Berdasarkan hasil pengkajian karya ilmiah sejenis sebelumnya, didapatkan sebuah antenna yang menggunakan teknik pencatutan *proximity coupling* yang mana membuat penulis melakukan penelitian baru menggunakan teknik pencatutan *Insert Feed*. Frekuensi yang digunakan yaitu 1800 MHz dengan toleransi pergeseran 5% dari frekuensi tengah. Antena mikrostrip baik konvensional maupun artifisial dibuat dengan bahan dasar material dielektrik akrilik.



Gambar 1. Material yang Digunakan

### 2.2. Antena Mikrostrip

Bentuk *patch* yang digunakan yaitu *patch* Segiempat. Konfigurasi peradiasi persegi panjang (*rectangular patch*) terdiri dari parameter lebar ( $W$ ) dan parameter panjang ( $L$ ) seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Antena Mikrostrip Bentuk Segiempat Konvensional

Frekuensi resonansi sebuah antenna merupakan frekuensi kerja antenna dimana pada frekuensi tersebut seluruh daya dipancarkan secara maksimal. Pada umumnya frekuensi resonansi menjadi acuan frekuensi kerja antenna [4]. Frekuensi Resonansi dirumuskan pada Persamaan (1).

$$f_{mn} = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_r}} \left[ \left( \frac{m}{L} \right)^2 + \left( \frac{n}{W} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Lebar elemen peradiasi dapat dirumuskan sebagai:

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (2)$$

Untuk menentukan panjang *patch* ( $L$ ) diperlukan diperlukan parameter  $\Delta L$  yang merupakan pertambahan dari panjang ( $L$ ) diakibatkan oleh adanya *fringing effect*.

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

Yang mana  $h$  merupakan tinggi dari substrat dan  $\epsilon_{eff}$  adalah konstanta dielektrik efektif. Dari persamaan (4) selanjutnya nilai konstanta dielektrik efektif adalah sebagai berikut [4] [5]:

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} \right) \quad (4)$$

Dengan demikian panjang *patch* ( $L$ ) diberikan oleh Persamaan (5).

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (5)$$

Dimana  $L_{eff}$  Panjang elemen peradiasi efektif dapat dirumuskan sebagai:

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (6)$$

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

$$\text{yang mana } B = \frac{377\pi}{2Z_0 \sqrt{\epsilon_r}}$$

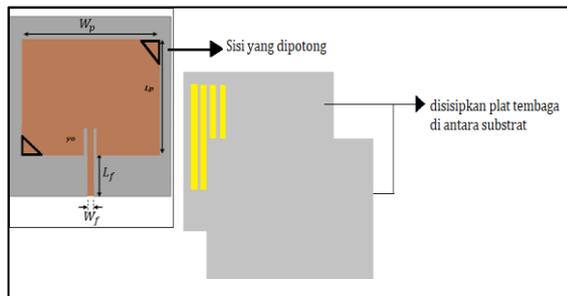
Untuk lebar *ground* dan panjang *ground* digunakan rumus sebagai berikut:

$$L_g = 6h + L + L_f \quad (8)$$

$$W_g = 6h + W \quad (9)$$

Selanjutnya, antenna mikrostrip artifisial yang mana pada antenna tersebut terdapat tambahan plat tembaga diantara substrat. Substrat yang digunakan berbahan akrilik yang ramah lingkungan dan dapat bersifat

kamufase. Teknik pencatuan yang dilakukan mengikuti antenna mikrostrip konvensional yaitu *Insert Feed*. Maka konstruksinya adalah *ground plane*, substrat bagian bawah, plat tembaga dalam bentuk *stripline*, substrat bagian atas, lalu *patch*. Pada ujung *Patch* dilakukan sedikit pemotongan untuk mendapatkan hasil simulasi polarisasi lingkaran. Untuk lebih jelasnya dari apa yang dijelaskan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Antena Mikrostrip Artifisial

Lapisan paling bawah, yaitu lapisan *ground plane* terbuat dari material konduktor yang berasal dari *patch*. Kemudian, lapisan di antara *ground* dan *patch* adalah substrat yang terbuat dari material dielektrik alami, dengan nilai permitivitas tertentu. Penelitian ini menggunakan substrat akrilik termodifikasi yang merupakan dielektrik artifisial. Substrat yang memiliki ketebalan tertentu—dalam penelitian ini ketebalan dipilih 1 mm—dibagi dua sama besar hingga terdiri dari substrat atas dan substrat bawah. Di antara keduanya, ditambahkan plat-plat tembaga tipis berbentuk *strip line*. Selanjutnya elemen *patch* dimana terbuat dari material konduktor yang sama dengan lapisan *ground* dan *strip line*. Ketebalan yang dipilih untuk lapisan-lapisan yang menggunakan plat tembaga adalah 0,5 mm.

### 2.3. Simulasi

Untuk melakukan simulasi seperti yang disampaikan dari hasil-hasil yang telah dijabarkan, penulis menggunakan software CST Studio Suite. CST Studio Suite adalah suatu simulator medan elektromagnetik yang mana diperuntukkan untuk pemodelan 3 dimensi perangkat pasif dengan struktur mulai dari frekuensi rendah hingga frekuensi tinggi. CST Studio Suite memiliki kelebihan yang mana sangat mudah dan interaktif digunakan pada sistem operasi microsoft windows grafical user interface. CST Studio Suite sudah dilengkapi sistem terintegrasi visualisasi, pemodelan volumetrik. Dalam CST Studio Suite terdapat beberapa parameter hasil yang ditampilkan, seperti parameter S, frekuensi resonan, dan medan elektromagnetik. HFSS juga merupakan pelopor penggunaan metode elemen terbatas (Finite Elemen Method) untuk simulator gelombang EM yang mengimplementasikan teknologi tangential vector

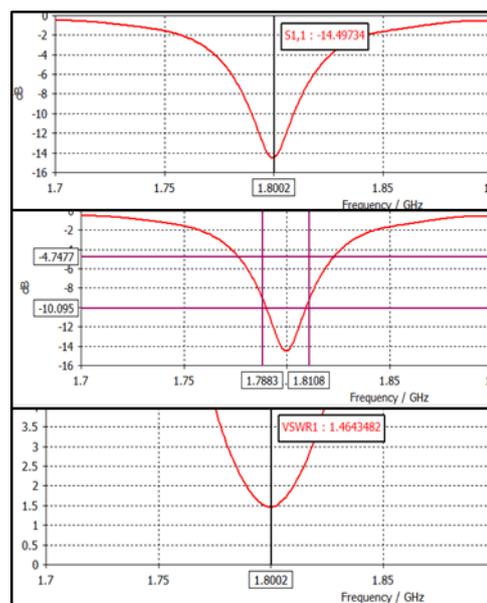
finite elements, Adaptive meshing, dan Adaptive Lanczos Pade Sweep (ALPS).

### Konvensional

Dalam merancang antenna, banyak sekali software yang bisa digunakan. Salah satunya adalah *CST Studio Suite*. Berikut adalah hasil dari perhitungan desain antenna mikrostrip kamufase konvensional:

Tabel 1. Perbandingan Dimensi Antena Mikrostrip Konvensional

Parameter	Sebelum Optimasi (mm)	Setelah Optimasi (mm)
W	56.18	54.5
L	44.98	44
Wm	2.3	4.6
Lf	22.97	24
Wg	62.18	66.5
Lg	73.95	80
Ws	-	1.5
Y <sub>0</sub>	17.29	17



Gambar 4. Hasil Simulasi Antena Konvensional dalam Urutan *Return Loss*, *Bandwidth*, *VSWR*

Optimasi dilakukan jika perhitungan hasil rumus tidak sesuai spesifikasi agar grafik yang ditampilkan sesuai dengan spesifikasi awal.

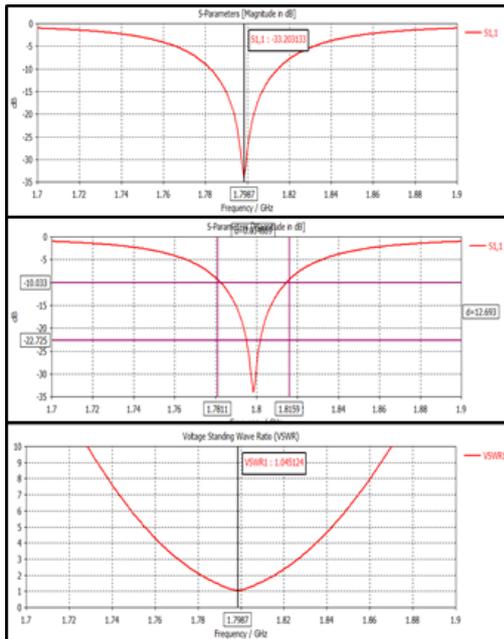
Tabel 2. Spesifikasi Hasil Simulasi Antena Mikrostrip Konvensional

Parameter	Keterangan
Frekuensi	1800 MHz
Bandwidth	22.5 MHz
Return Loss	14.5 dB
VSWR	1.46

Grafik pada Gambar 4 menunjukkan frekuensi yang sesuai dengan spesifikasi yang dikehendaki untuk antenna kepolisian yaitu frekuensi GSM 1800 MHz dan *return loss* 14.5 dB. Nilai *return loss* sudah sesuai dengan batas yang diinginkan yaitu lebih dari 10 dB dan VSWR yang dihasilkan sebesar 1.46.

### Artifisial

Sama halnya dengan desain antenna mikrostrip konvensional, optimasi perlu dilakukan jika perhitungan hasil rumus tidak sesuai spesifikasi agar grafik yang ditampilkan sesuai dengan spesifikasi awal.



Gambar 5. Hasil Simulasi Antena Artifisial dalam Urutan *Return Loss*, *Bandwidth*, VSWR

Tabel 3. Spesifikasi Hasil Simulasi Antena Mikrostrip Artifisial

Parameter	Keterangan
Frekuensi	1800 MHz
Bandwidth	33.5 MHz
Return Loss	24.5 dB
VSWR	1.12

Gambar 5 menunjukkan hasil frekuensi dan *return loss*. Frekuensi kerja sebesar 1800 MHz dan *return loss* 33.2 dB. Ditunjukkan pula nilai VSWR sesuai dengan spesifikasi yaitu kurang dari 2 sebesar 1.04.

Dari hasil yang diperoleh dengan melakukan proses desain simulasi antenna mikrostrip konvensional dan artifisial, frekuensi kerja masing-masing elemen antenna pada kedua antenna mikrostrip tersebut masih berada pada rentang toleransi frekuensi kerja yang ditentukan sebesar  $\pm 5\%$  yaitu di 1800MHz. Frekuensi kerja antenna mikrostrip konvensional bergeser sebesar 0.01% sedangkan antenna artifisial hanya bergeser sebesar 0.07%.

Sebelum dilakukan optimasi berdasarkan hasil simulasi desain antenna konvensional didapatkan ukuran lebar patch sebesar 56.18 mm, namun setelah adanya optimasi lebar patch mengalami penurunan ukuran hingga mencapai angka 54,5 mm. Persentase perbandingannya sebesar 2,9%. Selanjutnya untuk panjang patch sebelum dilakukannya optimasi didapatkan angka 44,98 mm sedangkan setelah dilakukannya optimasi mendapatkan nilai 44 mm, maka persentase perbandingannya hanya sebesar 2,1%. Pada antenna artifisial lebar patch dari hasil perhitungan sebesar 44,22 mm, namun ketika dilakukan optimasi disimulasi CST Studio Suite nilai berubah menjadi 45,1 mm, dengan persentase kenaikan 1,9%. Panjang patch bernilai 33,69 dioptimasi menjadi 48 dengan persentase 42%. Dapat dilihat bahwa ukuran antenna artifisial terbilang lebih kecil dibandingkan dengan ukuran antenna konvensional.

Dari kurva hasil (S) simulasi, dapat ditemukan nilai deviasi frekuensi yang terjadi menggunakan rumus sebagai berikut:

a) Frekuensi Tengah

$$S_{f_c} = \frac{f_{c_k} - f_{c_a}}{f_{c_k}} \times 100\% \quad (10)$$

b) Frekuensi Bawah

$$S_{f_l} = \frac{f_{l_a} - f_{l_k}}{f_{l_k}} \times 100\% \quad (11)$$

c) Frekuensi Atas

$$S_{f_h} = \frac{f_{h_k} - f_{h_a}}{f_{h_k}} \times 100\% \quad (12)$$

Tabel 4. Persentase Perbedaan Frekuensi antara Antena Mikrostrip Konvensional dengan Antena Mikrostrip Artifisial

Parameter	Besar Deviasi Frekuensi (%)
Frekuensi Tengah	0,08 %
Frekuensi Bawah	0,4 %
Frekuensi Atas	0,28 %

Dapat dilihat dari Tabel 4 bahwa nilai deviasi frekuensi pada antenna mikrostrip artifisial terhadap antenna mikrostrip konvensional besarnya tidak melebihi 5% baik di frekuensi tengah, frekuensi bawah, maupun frekuensi atas. Karena nilai deviasi frekuensi kurang dari 5%, maka simulasi purwarupa antenna mikrostrip artifisial yang direalisasikan dapat dikatakan berhasil.

Selain dapat diketahui nilai dari deviasi frekuensi, dapat pula diketahui nilai dari permitivitas relatif yang baru untuk antenna mikrostrip artifisial. Untuk mencari nilai permitivitas baru tersebut, maka digunakan seperti pada Persaan 10 berikut:

$$\frac{f_{rk}}{f_{ra}} = \frac{W_a \sqrt{\epsilon_{ra}}}{W_k \sqrt{\epsilon_{rk}}} \quad (10)$$

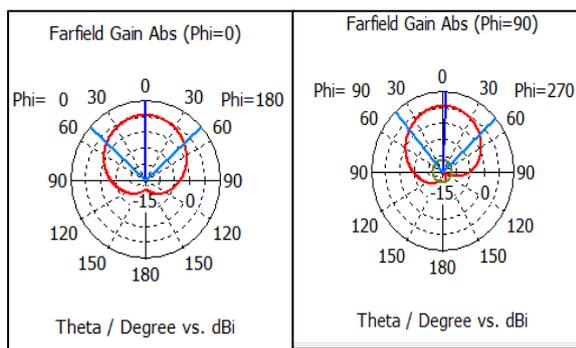
$f_{rk}$  merupakan frekuensi antenna mikrostrip konvensional dan  $f_{ra}$  merupakan frekuensi antenna mikrostrip artifisial.

Dari perhitungan menggunakan Persamaan (10) tersebut, diperoleh nilai permitivitas relatif antenna mikrostrip artifisial yang sesungguhnya berada di angka kurang lebih bernilai 3.6. Nilai tersebut mengalami kenaikan 38% dari permitivitas relatif antenna mikrostrip konvensional.

### 3. POLA RADIASI DAN GAIN

Pola radiasi adalah fungsi matematika yang merepresentasikan grafik dari sifat radiasi antenna sebagai fungsi ruang. Sifat radiasi tersebut meliputi kerapatan flux, intensitas radisi, kuat medan, atau polarisasi [6].

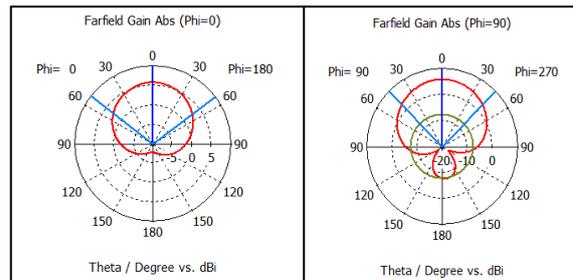
Pada hasil simulasi yang dihasilkan pola radiasi antenna mikrostrip konvensional dalam bentuk *E-Plane* maupun *H-Plane* dapat dilihat seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Pola Radiasi Antena Konvensional  
(a) *E-Plane* (b) *H-Plane*

Bentuk dari pola radiasi *E-Plane* antenna mikrostrip konvensional. Seperti yang dapat dilihat, pola radiasi, memiliki bagian *main lobe* tanpa *side lobe*. Pola radiasi pada *E-Plane* menghasilkan nilai HPBW sebesar 95.4°. Lalu, bentuk dari pola radiasi *H-Plane* antenna mikrostrip konvensional seperti yang dapat dilihat, memiliki bagian *main lobe* dengan sedikit *side lobe*. Pola radiasi pada *H-Plane* menghasilkan nilai HPBW sebesar 89.2°.

Hasil simulasi yang dihasilkan pola radiasi antenna mikrostrip Artifisial terlihat pada Gambar 7.



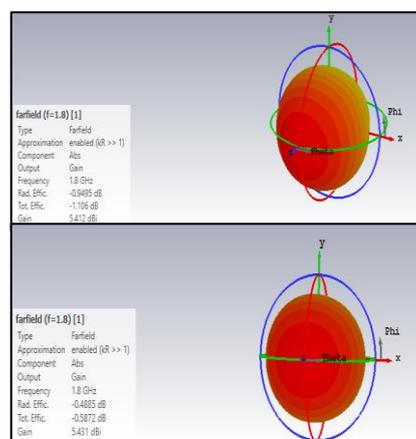
Gambar 7. Pola Radiasi Antena Artifisial (a) *E-Plane* (b) *H-Plane*

Gambar 7 menunjukkan bentuk dari pola radiasi *H-Plane* dan *E-Plane* antenna mikrostrip artifisial. Seperti yang dapat di lihat, pola radiasi pada *E-Plane*, memiliki bagian *main lobe* tanpa *side lobe*. Pola radiasi pada *E-Plane* menghasilkan nilai HPBW cukup besar di angka 105.1°. Pada pola radiasi *H-Plane* memiliki bagian *main lobe* dan *side lobe* dengan HPBW 89.6°.

Berdasarkan hasil dari simulasi pola radiasi untuk antenna mikrostrip konvensional maupun antenna mikrostrip artifisial dapat dilihat keduanya memiliki pola radiasi unidireksional dimana mengarah pada daerah tertentu. Dapat dilihat pula bentuk pola radiasi kedua antenna baik itu pola *E-Plane* maupun *H-Plane* terlihat hampir serupa dan tidak berbeda jauh.

Gain antenna merupakan perbandingan antara intensitas radiasi suatu antenna pada arah utama dengan intensitas radiasi dari antenna referensi menggunakan daya input yang sama untuk mengetahui jarak jangkauan maksimal dari radiasi yang dihasilkan oleh antenna [7].

Berdasarkan simulasi, Gain yang didapatkan untuk antenna mikrostrip konvensional Gambar 8 (a) dan antenna mikrostrip artifisial dapat dilihat pada Gambar 8 (b).



Gambar 8 Gain Antena Mikrostrip (a) Konvensional (b) Artifisial

Hasil yang didapatkan dari proses simulasi menampilkan bahwa gain antenna mikrostrip konvensional dan mikrostrip artifisial memenuhi syarat spesifikasi dimana  $\geq 3$  dBi yaitu 5,41 dBi untuk konvensional dan 5,42 dBi untuk artifisial. Pada dielektrik artifisial, semakin banyak kawat konduktor yang disisipkan semakin besar pula gain yang dihasilkan. Penambahan plat lebih banyak membuat gain lebih besar.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi kamuflase antenna untuk sistem komunikasi intelejen kepolisian pada frekuensi GSM 1800 MHz berbahan substrat akrilik dapat diambil kesimpulan bahwa:

- 1) Baik antenna konvensional maupun artifisial yang sudah didesain dan disimulasikan dapat bekerja pada toleransi frekuensi 5% yaitu dalam 1800 MHz.
- 2) *Bandwidth* yang dihasilkan antenna artifisial lebih baik dibandingkan dengan antenna konvensional yaitu  $\geq 30$  MHz dengan ukuran antenna artifisial lebih kecil dibanding dengan konvensional.
- 3) Semakin besar dimensi *patch* antenna maka akan menurunkan frekuensi kerja begitupun sebaliknya, jika *patch* antenna lebih kecil maka frekuensi kerja antenna akan meningkat.
- 4) Pola radiasi yang dihasilkan baik konvensional maupun artifisial bersifat unidireksional.
- 5) Nilai *gain* yang dihasilkan antara antenna mikrostrip artifisial dibandingkan dengan antenna mikrostrip konvensional lebih tinggi nilai gain antenna mikrostrip artifisial. Hal ini berlaku apabila plat tembaga ditambah. Sifat kamuflase dari antenna terdapat dibahan akrilik yang mana bahan tersebut bukanlah bahan yang umum digunakan untuk sebuah antenna.

Berdasarkan analisis dari hasil simulasi yang didapatkan untuk mendapatkan spesifikasi lebih baik

lagi maka beberapa saran yang dapat disampaikan sebagai berikut:

- 1) Gunakan bentuk substrat atau *patch* yang lain, seperti *circular* ataupun *triangle* untuk melihat apakah mendapatkan hasil yang lebih baik.
- 2) Pencatuan *proximity coupling* dapat juga diterapkan pada purwarupa material yang lainnya.
- 3) Gunakan jenis material dielektrik yang lain untuk melihat keefektifan dari sebuah substrat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tyan Ludiana Prabowo, Irwansyah, "Media Komunikasi Digital PolisiKu: Pelayanan Publik Polri kepada Masyarakat," Indonesian Journal of Communications Studies, vol. II, no. 3, pp. 382-402, 2018.
- [2] Rambe, Ali HAnifah, Antena Mikrostrip; Konsep dan Aplikasi, 2012.
- [3] H. Ludyati, A. Munir and A. dan Bayu, "Theoretical Analysis of Resonant Frequency for Anisotropic Artificial Circular Dielectric Resonator Encapsulated in Waveguide," International Journal on Electrical Engineering and Informatics, vol. 9, pp. 259-268, 2017.
- [4] I. Surjati, Antena Mikrostrip Konsep dan Aplikasinya, Jakarta: Universitas Trisakti, 2010.
- [5] C. A Balanis, "Antena Theory Analysis and Design Third Edition," New Jersey, John Wiley and Sons, Inc, 2005, pp. 64-70.
- [6] I. Kartika, "Realisasi Antena Mikrostrip Lingkaran 1 Elemen Menggunakan Purwarupa Material Elektromagnetik Inovatif Berbahan Dasar Akrilik dengan Mode TM01 dan TM11 Pada Frekuensi 1800 MHZ," Bandung, 2018.
- [7] Dania Farahiyah, Hepi Ludyati, "Realisasi Antena Bts Mini 1800 Mhz Menggunakan Antena Mikrostrip Lingkaran Artifisial Dengan Pencatuan Proximity Coupling dan Mode Gelombang Tm01-," IRWNS, 2019.