

# Realisasi Antena Mikrostrip Persegi Satu Elemen untuk Aplikasi LTE Menggunakan Material Dielektrik Anisotropik Pada Frekuensi 1,8 GHz

Aninda Al Shifa<sup>1</sup>, Idhamartya Wulani<sup>2</sup>, Yumna Salma Azzahra<sup>3</sup>, Hepi Ludyati<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail : aninda.al.tcom17@polban.ac.id

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail : idhamartyawulani@gmail.com

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail : yumnasalma24@gmail.com

<sup>4</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail : hepi.ludyati@polban.ac.id

## ABSTRAK

Antena merupakan salah satu elemen penting pada sistem komunikasi tanpa kabel, dimana tidak ada sistem komunikasi *wireless* yang tidak menggunakan antena. Manfaat teknologi LTE, kebutuhan tidak hanya terbatas pada komunikasi suara saja, akan tetapi juga dilakukan untuk komunikasi *wireless*. Penulis mengusulkan sebuah antena mikrostrip berbahan material elektromagnetik artifisial untuk aplikasi LTE menggunakan substrat jenis FR4 epoxy. FR4 epoxy ini penyerapan airnya mendekati nol, bahan ini dikenal mempertahankan nilai mekanis yang tinggi dan kualitas isolasi listrik baik dalam kondisi kering maupun lembab. Pada material dielektrik artifisial ini memiliki struktur dasar persegi. Mode gelombang yang digunakan adalah *transverse magnetic*, keuntungan dengan menggunakan mode gelombang ini yaitu dapat meminiaturisasi ukuran perangkat. Mode gelombang yang digunakan pada antena ini adalah mode  $TM_{11}$  dengan teknik pencatuan *proximity coupled*. Hasil simulasi antena konvensional memiliki *return loss* 25,4117 dB dengan frekuensi tengah 1,8 GHz. Pada antena artifisial memiliki *return loss* 20,3582 dB dengan frekuensi tengah 1,8 GHz. Proses miniaturisasi yang didapat pada dimensi antena secara perhitungan adalah 23,44%. Hasil pengukuran didapat antena konvensional memiliki *return loss* 12,5 dB dengan frekuensi tengah 1,882 GHz. Pada antena artifisial memiliki *return loss* 15 dB dengan frekuensi tengah 1,875 GHz. Proses miniaturisasi yang didapat pada dimensi antena adalah 17,7%.

## Kata Kunci

Anisotropik, Antena, Dielektrik, Mikrostrip,  $TM_{11}$

## 1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan teknologi komunikasi di dunia, jaringan seluler di Indonesia juga berkembang dengan pesat terutama sejak diluncurkan layanan 4G LTE pada tahun 2014. Teknologi komunikasi *mobile broadband* berbasis *Long Term Evolution* atau yang disingkat dengan LTE merupakan standar komunikasi nirkabel berbasis GSM, UMTS dan HSDPA. Teknologi ini sudah digunakan pada skala global. Di Indonesia yang pada umumnya menggunakan teknologi GSM, jaringan LTE diimplementasikan pada frekuensi 1,8 GHz yang dapat memaksimalkan kinerja LTE terutama kebutuhan *gain* dan *bandwidth* [1].

Dari beberapa literasi dapat disimpulkan menjadi beberapa bahasan diantaranya; 1. Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip MIMO Bowtie 4x4 pada

Frekuensi 1,8 GHz Untuk Aplikasi LTE [2], 2. Perancangan Antena Mikrostrip Array 2x1 untuk meningkatkan *Gain* untuk Aplikasi LTE pada Frekuensi 2.300 MHz [3], dan 3. Perancangan Antena dengan *Circular Line Patch* dan *Thick Line* untuk LTE frekuensi 1.8 GHz [4]. Solusi pertama teknik pencatuan yang digunakan kurang baik sehingga *bandwidth* yang diinginkan sulit terpenuhi. Solusi kedua tidak direalisasikan namun berupa perencanaan saja. Solusi ketiga juga hanya perancangan dan analisis saja.

Untuk mengatasi kekurangan-kekurangan tersebut, maka kami memberikan solusi dengan menciptakan suatu antena yang sesuai dengan karakteristik LTE yang mampu bekerja pada frekuensi 1,8 GHz. Selain itu menggunakan bahan yang ringan dan ekonomis serta mudah didapatkan. Pencatuan yang digunakan yaitu *proximity coupled* yang memiliki keuntungan dapat memperbesar *return loss*.

## 2. METODE

### 2.1 Teori dan Teknologi Pendukung

#### a. Return Loss

*Return Loss* merupakan koefisien refleksi dalam bentuk logaritmik yang menunjukkan daya yang hilang karena antena dan saluran transmisi tidak *matching* [5].

#### b. Frekuensi Resonansi

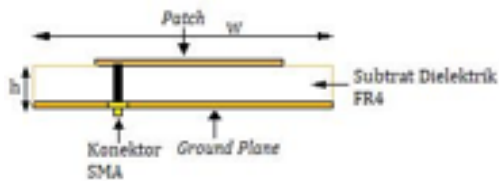
Frekuensi Resonansi merupakan frekuensi kerja dari suatu antena. Rentang frekuensi kerja dari suatu antena dapat dilihat dari grafik VSWR dan grafik *return loss*. Apabila menggunakan grafik *return loss* rentang frekuensi kerja dari suatu antena dapat dilihat ketika nilai *return loss*-nya bernilai lebih kecil atau sama dengan -9,54 dB [5].

#### c. Teknologi Pendukung (Ansoft HFSS 15.0)

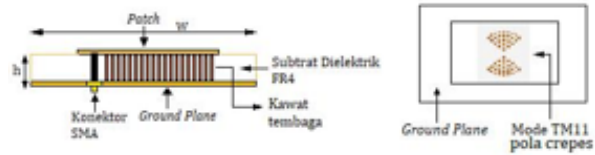
Ansoft HFSS (*High Frequency Structure Simulator*) adalah sebuah simulator medan elektromagnetika yang berfungsi untuk pemodelan tiga dimensi perangkat pasif dengan frekuensi tinggi. Ansoft HFSS ini menggambarkan secara visualisasi berupa pemodelan volumetrik. Dalam aplikasi ini jika mengatur desain yang akan dibuat, terdapat beberapa opsi yaitu *coordinate system, position, Xsize, Ysize* dan *Zsize* [6].

### 2.2 Perancangan Antena

Tahapan selanjutnya yaitu perancangan alat. Antena yang akan dibuat tersusun dari radiator (*patch*) lalu substrat (FR-4) dan *ground plane*. Perealisasian antena dilakukan pada material dielektrik murni dan pada material dielektrik artifisial (FR-4). Untuk antena dengan material dielektrik artifisial disisipkan kawat konduktor dengan radius 1 mm dan tinggi 3 mm ke dalam substrat dipasang pada medan listrik maksimum apabila disebarakan membentuk pola *crepes*. Sedangkan yang murni tidak disisipkan konduktor sama sekali. Untuk merancangnya hal yang perlu dilakukan adalah melakukan perhitungan terlebih dahulu agar didapat frekuensi tengah 1,8 GHz dan *return loss*  $\geq 10$  dB. Rancangan dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



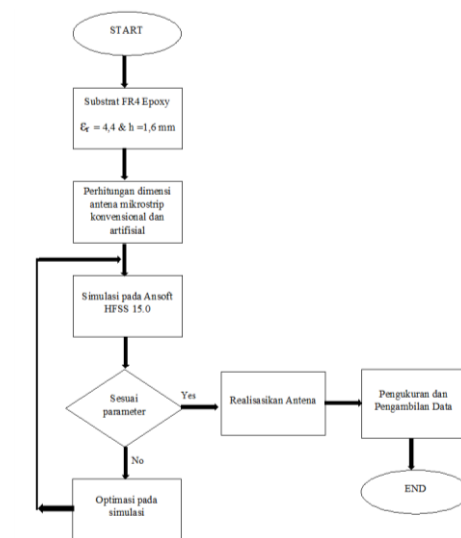
Gambar 1. Perancangan antena



Gambar 2. Perancangan dengan kawat konduktor Mode TM11 (pola *crepes*)

### 2.3 Sistem secara Keseluruhan

Pada bagian ini membahas secara keseluruhan proses perancangan antena mulai dari perhitungan, simulasi, realisasi, dan diakhiri dengan pengukuran dan pengambilan data. Sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sistem secara Keseluruhan

### 2.4 Perhitungan Ukuran Dimensi Antena

Perhitungan dimensi antena bertujuan untuk mengetahui ukuran dimensi antena sebelum disimulasikan. Pada Tabel 1. tertera keterangan nilai parameter yang digunakan untuk menghitung dimensi antena.

Tabel 1. Parameter untuk Perhitungan Dimensi Antena

Parameter	Nilai
Permittivitas relatif ( $\epsilon_r$ )	4,4
Ketebalan substrat ( $h$ )	3,2 mm
Frekuensi kerja ( $f_r$ )	1,8 GHz

Dengan diketahuinya nilai-nilai parameter tersebut, maka perhitungan dimensi dapat langsung dilakukan sebagai berikut:

### Dimensi Patch Antena Konvensional

1. Frekuensi tengah

$$f_r = 1,8 \text{ GHz}$$

2. Menghitung lebar patch ( $W_p$ )

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

dengan persamaan (1) didapat nilai  $W_p$  50,715 mm.

3. Menghitung panjang patch ( $L_p$ )

Ketebalan FR4 epoxy sebenarnya adalah 1.6 mm. Pada penelitian ini akan ditambahkan substrat dua kali lipat menjadi 3.2 mm.  $\epsilon_{reff}$  merupakan konstanta dielektrik efektif yang dihitung dari persamaan (2).

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

Dengan persamaan (2) didapat nilai  $\epsilon_{reff}$  3,98. Didapatlah nilai  $\Delta L$  dengan men-substitusikan persamaan (3).

$$\Delta L = 0.412h \left[ \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \left( \frac{w}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0,258) \left( \frac{w}{h} + 0,8 \right)} \right] \quad (3)$$

Dari persamaan (3) didapat nilai  $\Delta L = 1,467$

Panjang patch dapat dicari dengan persamaan (4).

$$L_p = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2\Delta L \quad (4)$$

Dari persamaan (4) didapat nilai  $L_p$  38,766 mm.

### Dimensi Patch Antena Artifisial

1. Persamaan frekuensi kerja ini terdapat penurunan  $f_{resonansi}$  yang merupakan acuan dari penelitian Ika Kartika [7], nilai persentase penurunan frekuensi resonansi yang diambil sebesar 25,30%.

$$f_r a = f_r k - (\% \text{ penurunan } f_r \times f_r k) \quad (5)$$

Dari persamaan (5) didapat nilai  $f_r a$  1344,6 MHz.

2. Permittivitas relatif baru

$$\frac{f_r k \sqrt{\epsilon_r a}}{f_r a \sqrt{\epsilon_r k}} \quad (6)$$

$$\epsilon_r a = \epsilon_r k \times \frac{f_r k^2}{f_r a^2} \quad (7)$$

Dari persamaan (7) didapat nilai  $\epsilon_r a$  7,88.

3. Menghitung lebar patch

$$W_p = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (8)$$

Dari persamaan (8) didapat nilai  $W_p$  39,54 mm.

4. Mengitung panjang patch

Terlebih dahulu mencari nilai pertambahan panjang dari patch akibat adanya *fringing effect* ( $\Delta L$ ) dengan persamaan (3). Permittivitas relatif ( $\epsilon_r a$ ) merupakan permittivitas relatif baru yang telah dicari.

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r a + 1}{2} + \frac{\epsilon_r a - 1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{w}}} \right) \quad (9)$$

Dari persamaan (9) didapat nilai  $\epsilon_{reff}$  6,89.

Didapatlah nilai  $\Delta L$  dengan men-substitusikan persamaan (3). Menggunakan persamaan 3 dengan mensubstitusikan persamaan (9) didapat nilai  $\Delta L$  1,37 mm. Dari persamaan (4) didapat nilai  $L_p$  27,08 mm.

### Dimensi Saluran Mikrostrip Line Antena Konvensional

Mencari dimensi lebar mikrostrip line ( $L_f$ ) dan panjang mikrostrip line ( $W_f$ ).

$$L_f = \frac{2h}{\pi} \left[ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} (\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r}) \right] \quad (10)$$

$$\text{Dimana } B = \frac{377\pi}{2Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (11)$$

$$B = \frac{377\pi}{2(50)\sqrt{4.4}}$$

$$B = 5,646$$

Dari persamaan (10) didapat nilai  $L_f$  6,122 mm.

2. Panjang gelombang didalam medium dielektrik

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (12)$$

Dari persamaan (12) didapat nilai  $\lambda_0 = 167$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (13)$$

Dari persamaan (13) didapat nilai  $\lambda_g$  83,709.

Panjang saluran transformator

$$W_f = \frac{1}{4} \lambda_g \quad (14)$$

Dari persamaan (14) didapat nilai  $W_f = 20,92$  mm.

### Dimensi Saluran Mikrostrip Line Antena Artifisial

1. Persamaan frekuensi kerja ini terdapat penurunan  $f_{resonansi}$ , nilai persentase penurunan frekuensi resonansi yang diambil sebesar 25,30%.

Dengan mensubstitusikan  $f_r$  a 1344,6 MHz ke persamaan (6) didapat nilai  $\epsilon_r a = 10,602$ . Dengan persamaan (10) didapat  $L_r$  2,8301 mm.

2. Panjang gelombang di dalam medium dielektrik

Dengan persamaan (13) didapat nilai  $\lambda_g$  83,20.

3. Panjang saluran transformator

Dengan persamaan (14) didapat nilai  $W_f$  20,80 mm

### Dimensi Substrat dan Ground Plane Antena Konvensional

Secara umum, *ground plane* memiliki luas serta tebal yang tak terhingga (*infinite ground plane*). Akan tetapi kondisi ini tidak dapat direalisasikan, maka dari itu panjang dan lebar *ground plane* harus dicari menggunakan perhitungan dari persamaan (15) dan persamaan (16).

1. Panjang Substrat dan *Ground Plane*

$$L = 6h + L_p \quad (15)$$

Dengan persamaan (15) didapat nilai  $L$  57,966 mm

2. Lebar Substrat dan *Ground Plane*

$$W = 6h + W_p \quad (16)$$

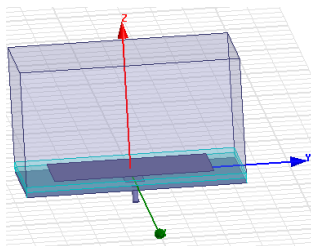
Dengan persamaan (16) didapat nilai  $W$  69,915 mm.

### Dimensi Substrat dan Ground Plane Antena Artifisial

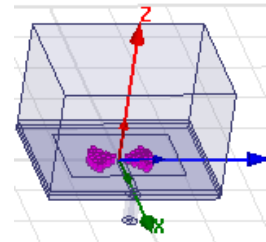
Lebar substrat dan *ground plane* serta panjang substrat dan *ground plane*. Panjang dan lebar patch didapat dari perhitungan sebelumnya. Dengan persamaan (15) didapat nilai  $L$  46,28 mm. Nilai  $W$  58,74 mm didapat dari persamaan (16).

### 2.5 Design Simulasi

Pada bagian ini menunjukkan *design* antena pada simulasi berupa *design* antena konvensional pada Gambar 4 dan *design* antena artifisial pada Gambar 5.



Gambar 4. Design Antena Konvensional

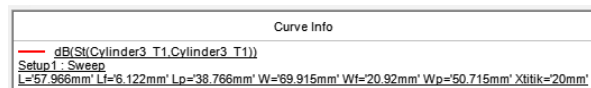


Gambar 5. Design Antena Artifisial

### 2.6 Pengujian Simulasi

Pengujian hasil perhitungan antena pada simulasi HFSS dibagi menjadi dua bagian, yaitu pada antena konvensional dan antena artifisial.

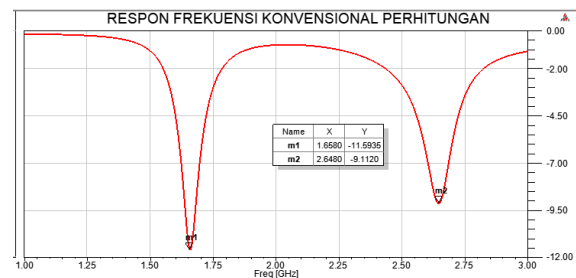
a. Antena Konvensional



Gambar 6. Dimensi Antena Konvensional Secara Perhitungan Pada Simulasi

Gambar 6 menunjukkan dimensi antena konvensional secara perhitungan pada simulasi. Respon frekuensi tidak memenuhi frekuensi tengah 1,8 GHz dan *return loss*  $\geq 10$  dB.

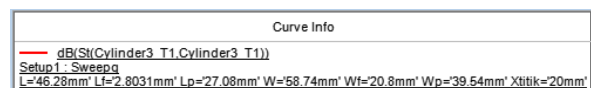
Output Respon Frekuensi



Gambar 7. Respon Frekuensi Antena Konvensional Secara Perhitungan

Gambar 7 menunjukkan respon frekuensi pada 1,658 GHz dan 2,648 GHz. Respon frekuensi belum tepat.

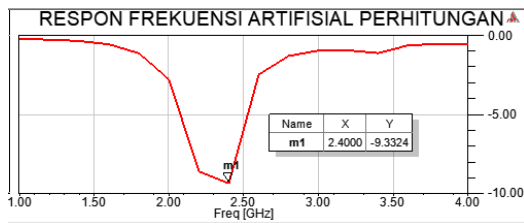
b. Antena Artifisial



Gambar 8. Dimensi Antena Artifisial Secara Perhitungan Pada Simulasi

Gambar 8 menunjukkan dimensi antena konvensional secara perhitungan pada simulasi. Respon frekuensi tidak memenuhi frekuensi tengah 1,8 GHz dan *return loss*  $\geq 10$  dB.

### Output Respon Frekuensi

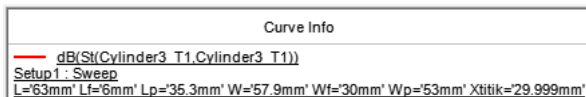


Gambar 9. Respon Frekuensi Antena Artifisial Secara Perhitungan

Gambar 9 menunjukkan respon frekuensi pada 2,4 GHz. Respon frekuensi belum tepat.

### 2.7 Optimasi Dimensi Pada Simulasi

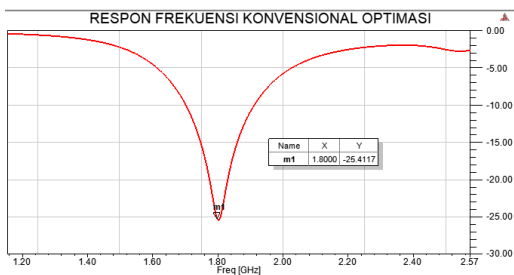
Pada hasil simulasi itu dapat dilihat bahwa frekuensi kerja dan *return loss* yang diinginkan belum tepat, maka perlu dilakukan optimasi. Di bawah ini merupakan hasil optimasi pada simulasi, Gambar 9 dan Gambar 11 merupakan dimensi antenna.



Gambar 10. Dimensi Antena Konvensional Optimasi Pada Simulasi

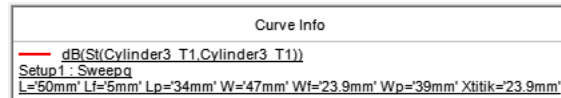
Gambar 10 menunjukkan dimensi antenna artifisial setelah mengalami optimasi atau perubahan ukuran dimensi antenna sehingga didapatkan frekuensi tengah 1,8 GHz dan *return loss*  $\geq 10$  dB.

### Output Respon Frekuensi



Gambar 11 Respon Frekuensi Antena Konvensional Optimasi

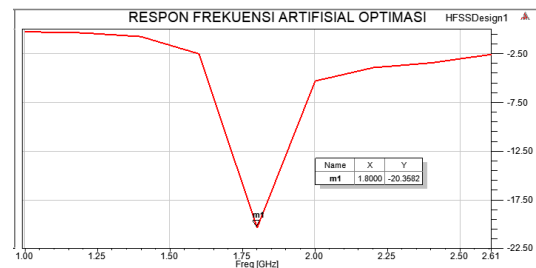
Gambar 11 menunjukkan respon frekuensi pada 1,8 GHz dengan *return loss* 25,4117 dB. Frekuensi kerja dan *return loss* sudah tepat.



Gambar 12. Dimensi Antena Artifisial Optimasi Pada Simulasi

Gambar 12 menunjukkan dimensi antenna artifisial setelah mengalami optimasi atau perubahan ukuran dimensi antenna sehingga didapatkan frekuensi tengah 1,8 GHz dan *return loss*  $\geq 10$  dB.

### Output Respon Frekuensi

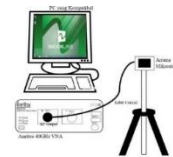


Gambar 13. Respon Frekuensi Antena Artifisial Optimasi

Gambar 13 menunjukkan respon frekuensi pada 1,8 GHz dengan *return loss* 20,3582 dB. Frekuensi kerja dan *return loss* sudah tepat. Antena Artifisial

### 2.8 Pengukuran

Set up Pengukuran merupakan peletakan alat-alat yang digunakan dan diintegrasikan dengan komponen terukur agar berfungsi sebagaimana mestinya. Berikut merupakan set up pengukuran dari pengukuran *return loss*, *bandwidth*, dan *SWR*; set up pengukuran pola radiasi serta set up pengukuran *gain* yang ditunjukkan dalam gambar dua dimensi [8].



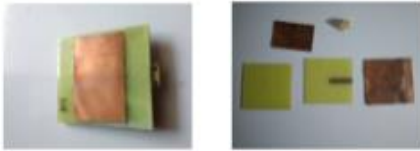
Gambar 14. Set Up Pengukuran Antena

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Realisasi Antena

Realisasi antenna merupakan implementasi dari hasil simulasi yang telah dilakukan pada Ansoft HFSS 15.0. Realisasi ini berupa purwarupa antenna konvensional pada Gambar 15 dan antenna Artifisial pada Gambar 16 dimana sudah memenuhi spesifikasi antenna untuk aplikasi LTE yang mampu bekerja pada frekuensi 1,8 GHz dengan *return loss*  $\geq 10$  dB.

### a. Antena Konvensional



Gambar 15. Realisasi Antena Konvensional

Gambar 15 menunjukkan realisasi antena secara utuh dan telah dipasang dengan kerangka antena konvensional.

### b. Antena Artifisial

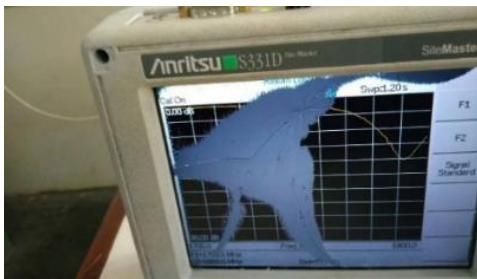


Gambar 16. Realisasi Antena Artifisial

Gambar 16 menunjukkan realisasi antena secara utuh dan telah dipasang dengan kerangka antena artifisial. Selain itu, dipasang 30 kawat konduktor membentuk pola *crepes* pada substrat dan dimensi sudah lebih kecil.

## 3.2 Hasil Pengukuran Antena

### Hasil Pengukuran Antena Konvensional



Gambar 17. Respon Frekuensi Antena Konvensional

Gambar 17 merupakan hasil pengukuran antena konvensional dengan parameter frekuensi tengah dan *return loss*. *Output* Anritsu sebagai alat ukur menunjukkan frekuensi tengah 1,882 GHz dan *return loss* 12,5 dB.

### Hasil Pengukuran Antena Artifisial



Gambar 18. Respon Frekuensi Antena Artifisial

Gambar 18 merupakan hasil pengukuran antena artifisial dengan parameter frekuensi tengah dan *return loss*. *Output* Anritsu sebagai alat ukur menunjukkan rekuensi tengah 1,875 GHz dan *return loss* 15 dB.

### 3.3. Analisis

Pada tahap ini semua yang telah diujikan akan dianalisis serta akan dibandingkan antara antena mikrostrip dengan material elektromagnetik murni dan antena mikrostrip dengan menggunakan bahan material dielektrik artifisial. Perbandingan dimensi konvensional dan artifisial dibedakan menjadi dimensi substrat dan *ground plane*, *patch*, dan mikrostrip *line*.

#### 1. Substrat dan *ground plane*

$$\%W = \frac{W_k - W_A}{W_k} \times 100\% = \frac{57,9 - 47}{57,9} \times 100\% = 18,82\%$$

$$\%L = \frac{L_k - L_A}{L_k} \times 100\% = \frac{63 - 50}{63} \times 100\% = 20,63\%$$

#### 2. *Patch*

$$\%W_p = \frac{W_{pK} - W_{pA}}{W_{pk}} \times 100\% = \frac{53 - 39}{53} \times 100\% = 26,41\%$$

$$\%L_p = \frac{L_{pK} - L_{pA}}{L_{pk}} \times 100\% = \frac{35,3 - 34}{35,3} \times 100\% = 3,68\%$$

#### 3. Mikrostrip *line*

$$\%W_f = \frac{W_{fK} - W_{fA}}{W_{fk}} \times 100\% = \frac{30 - 23,9}{30} \times 100\% = 20,33\%$$

$$\%L_f = \frac{L_{fK} - L_{fA}}{L_{fk}} \times 100\% = \frac{6 - 5}{6} \times 100\% = 16,66\%$$

Hasil persentase dimensi dirata-ratakan sehingga menghasilkan keberhasilan proses miniaturisasi realisasi sebesar 17,7%. Secara perhitungan teori proses miniaturisasi sebesar 23,44%.

## 4. KESIMPULAN

Pada penelitian Realisasi Antena Persegi Satu Elemen untuk Aplikasi LTE Menggunakan Material Dielektrik



Anisotropik Pada Frekuensi 1,8 GHz dapat disimpulkan saat hasil perhitungan disimulasikan pada aplikasi HFSS, menunjukkan bahwa frekuensi tengah yang diinginkan belum sesuai sehingga harus dilakukan optimasi pada ukuran dimensinya. Hasil simulasi yang sudah benar frekuensi tengah dan *return loss*nya direalisasikan dan didapat frekuensi kerja pada antena konvensional 1,882 GHz dengan *return loss* 12,5 dB. Pada realisasi antena artifisial didapat frekuensi tengah 1,875 GHz dan *return loss* 15 dB. Secara perhitungan persentase miniaturisasi didapat 23,44%, sedangkan secara realisasi didapat 17,7%. Terbukti bahwa antena artifisial memiliki dimensi yang lebih kecil dengan persentase 75% dari nilai perhitungan secara teori. Antena artifisial memiliki *return loss* yang lebih besar dari antena konvensional. Sehingga menyebabkan kinerja antena artifisial lebih baik dan harga bahannya lebih ekonomis karena proses miniaturisasi. Pencatutan *proximity coupled* dan penambahan kawat konduktor membantu membuat *return loss* lebih besar. Antena ini sudah memenuhi spesifikasi antena LTE karena menghasilkan *signal* pada frekuensi 1,8 GHz.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Pembantu Direktur Bidang Kemahasiswaan Politeknik Negeri Bandung (Polban) melalui Program Kreatifitas Mahasiswa (PKM) tahun 2019.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Alaydrus, 2015. "Riset Antena – State of the Art," Jurnal Telekomunikasi dan Komputer, vol. 6, no. 1.
- [2] A. A. M. Y. W. Rafelly Jhon, 2016. "Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip MIMO Bowtie 4X4 pada Frekuensi 1,8 GHz untuk Aplikasi LTE," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 3, no. 2, p.
- [3] K. A. R. T. S. Yusnita Rahayu, 2017. "Perancangan Antena dengan Circular Line Patch dan Thick Line untuk LTE frekuensi 1.8 GHz," *SINERGI*, vol. 21, no. 1, pp. 59-64.
- [4] R. F. N. Syah Alam, 2018. "Perancangan Antena Mikrostrip Array 2x1 untuk Meningkatkan Gain untuk Aplikasi LTE pada Frekuensi 2.300 MHz," *Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer*, vol. 7, no. 28.
- [5] Herudin, "Perancangan Antena Mikrostrip Frekuensi 2,6 GHz untuk Aplikasi LTE (Long Term Evolution)", Jurnal SETRUM, vol 1, No. 1, Juni 2012.
- [6] Y. Rahayu, K. Alfikri, R. S dan T., "Perancangan Antena Dengan Circular Line Patch Dan Thick Line Untuk LTE Frekuensi 1.8 GHz," *Sinergi*, vol. 21, pp. 59-63, Februari 2017.
- [7] 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.
- [8] Cucun Noviyanti, "Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip 4x4 MIMO Berbahan Material Dielektrik Artifisial untuk Aplikasi LTE pada Frekuensi 2300-2400 MHz", Bandung, 2019.