

PENGARUH NILAI PERMITIVITAS RELATIF TIDAK HOMOGEN TERHADAP PERFORMANSI PADA ANTENA MIKROSTRIP *SINGLE LAYER PATCH* SIRKULAR FREKUENSI *X-BAND*

Wahyu Fadhilah¹, Bambang Sumajudin², Edwar³

^{1, 2, 3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung
Indonesia, 40257

¹wahyufadhilah@yahoo.co.id, ²sumajudin@telkomuniversity.ac.id,

³eduatgugel@gmail.com

Abstrak

Antena mikrostrip merupakan antena yang sering digunakan untuk berbagai keperluan karena mempunyai beberapa kelebihan antara lain kecil, sederhana, dan murah. Dibalik kelebihan itu, terdapat beberapa kekurangan yaitu mempunyai *Bandwidth* yang kecil dan *Gain* yang kecil. Substrat tidak homogen telah digunakan untuk menurunkan indeks dielektrik yang efektif dari substrat Homogen, menekan gelombang permukaan yang berasal dari sebuah *patch*, dan meningkatkan pola radiasi dari *patch*. Pada penelitian ini, didapatkan hasil performansi yang lebih baik pada antena dengan menggunakan substrat tidak homogen. Performansi antena yang paling baik berupa peningkatan *bandwidth* sebesar 128,15 MHz (29,558%), *gain* sebesar 0.8076 dBi (11,855%), dan frekuensi tengah dari antena bergeser ke kanan (bertambah) sebesar 1,0075 GHz (9,842%) daripada performansi dengan substrat homogen.

Kata Kunci: Kata kunci sedapat mungkin menjelaskan isi tulisan, dan ditulis dengan huruf kecil, kecuali akronim. Kata kunci tidak lebih dari 6 kata.

Abstract

The abstract should state briefly the general aspects of the subject and the main conclusions. The length of abstract should be no more than 200 words.

Key Words: keyword should be chosen that they best describe the contents of the paper and should be typed in lower-case, except proper nouns and acronyms. Keyword should be no more than 6 words.

1. Pendahuluan

Antena mikrostrip merupakan antena yang sering digunakan untuk berbagai keperluan karena mempunyai beberapa kelebihan antara lain kecil, sederhana, dan murah. Dibalik kelebihan itu, terdapat beberapa kekurangan yaitu mempunyai *Bandwidth* yang kecil dan *Gain* yang kecil. Pada dasarnya, menggunakan substrat dengan nilai permitivitas yang rendah akan menghasilkan *bandwidth* yang besar tetapi dengan dimensi yang lebih besar dan *gain* yang kecil. Sebaliknya, menggunakan substrat dengan nilai permitivitas yang tinggi akan menghasilkan *gain* yang besar dan dimensi yang lebih kecil tetapi dengan *bandwidth* yang kecil [1].

Antena memiliki 3 bagian, yaitu *Ground Plane*, Substrat, dan *Patch*. Setiap bagian mempunyai bahan yang berbeda. Pada penelitian sebelumnya, *ground*

plane dan *patch* memiliki bahan yang sama yaitu *copper*, sedangkan substrat bisa memiliki bahan yang berbeda. Dalam hal ini, bahan substrat yang digunakan adalah *Roger RT5880* dengan permitivitas relatif 2,2 dengan ketebalan 1,588 mm. Teknik pencatutan yang digunakan yaitu *Microstrip Line Feed* [2].

Peningkatan performansi antena sangat diperlukan. Jenis antena mikrostrip merupakan jenis antena yang dapat di kembangkan lebih lanjut lagi. Terdapat banyak metode yang dapat dilakukan untuk meningkatkan performansi antena. Dalam hal ini penulis akan mengangkat topik tentang Pengaruh Nilai Permitivitas Relatif tidak Homogen Terhadap Performansi pada Antena Mikrostrip *Single Layer Patch* Sirkular Frekuensi *X-Band*. Diharapkan dengan merubah nilai dielektrik yang selama ini bernilai konstan pada sebuah antena mikrostrip dapat

meningkatkan performansi antenna sehingga dapat memperkecil kelemahan dari antenna mikrostrip.

Pada Studi lainnya digunakan substrat tidak homogen untuk meningkatkan *bandwidth* dan *gain* pada antenna. Dengan menggunakan substrat dengan nilai permitivitas relatif tidak sama pada suatu antenna mikrostrip yaitu udara, *Rogers RU-3003*, dan *Rogers RT/Duroid-5880*. Substrat tidak homogen ini telah digunakan untuk menurunkan indeks dielektrik yang efektif dari substrat Homogen, menekan gelombang permukaan yang berasal dari sebuah *patch*, mengurangi hilangnya penyisipan *filter*, meningkatkan pola radiasi dari *patch* dan mengurangi *mutual coupling* di antara antenna elemen *array* [3][4][5].

2. KONSEP DASAR

2.1 Antena Mikrostrip

Antena Mikrostrip adalah salah satu jenis antenna yang sangat populer. Antena mikrostrip memiliki sifat yang konformal sehingga dapat ditempatkan pada semua jenis permukaan. Dengan sifat yang dimiliki oleh antenna mikrostrip, antenna mikrostrip sangat sesuai dengan kebutuhan industri telekomunikasi saat ini sehingga dapat digunakan oleh perangkat telekomunikasi bahkan dengan ukuran paling kecil sekalipun. Antena mikrostrip terbagi menjadi 3 bagian yaitu, *Patch*, *substrate*, dan *ground plane* [6].

2.2 Substrat

Substrat pada antenna mikrostrip terbuat dari bahan dielektrik yang mempunyai fungsi sebagai media penyalur gelombang elektromagnetik dari catuan. Bahan substrat pada antenna mikrostrip dapat berdasarkan karakteristik material yang diinginkan untuk daya yang optimal pada suatu jarak frekuensi tertentu. Spesifikasi umum substrat pada antenna mikrostrip termasuk nilai konstanta permitivitas relatif, faktor disipasi (*loss tangent*), dan ketebalan. Tabel 1 menunjukkan Substrat pada antenna mikrostrip mempunyai nilai konstanta permitivitas relatif antara $2,2 < \epsilon_r < 12$ digunakan pada frekuensi dari 1 hingga 100 GHz [6].

Substrat heterogen menghasilkan nilai yang berbeda permitivitas pada lokasi yang berbeda dalam substrat dan digunakan untuk meningkatkan kinerja elektromagnetik antenna mikrostrip. Substrat ini telah digunakan untuk menurunkan indeks dielektrik yang efektif dari substrat Homogen, menekan gelombang permukaan yang berasal dari sebuah *Patch*, mengurangi hilangnya penyisipan *filter*, meningkatkan pola radiasi dari *Patch* dan mengurangi *mutual coupling* di antara antenna elemen *array* [3].

Tabel 1. Nilai Permitivitas Relatif berdasarkan jenis bahan

Jenis Bahan	Permitivitas Relatif (ϵ_r)
Udara	1
<i>Foam</i>	1.07
<i>Fr-4 Epoxy</i>	4.4
<i>RT/Duroid 5880</i>	2.2
<i>Polysterene-quartz</i>	2.6
<i>Teflon-ceramic</i>	2.3
<i>Polyolefin-ceramic</i>	3 10
<i>Polyster-ceramic</i>	6

3. PERANCANGAN

3.1 Spesifikasi Antena

Sebelum melakukan perancangan, terlebih dahulu menentukan spesifikasi antenna yang diinginkan. Yaitu antenna mikrostrip dengan bentuk *Patch* sirkular. Berikut adalah spesifikasi yang diinginkan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Antena

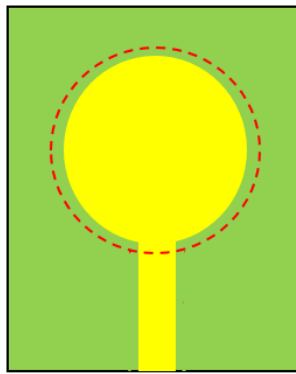
Frekuensi Kerja	10 GHz
Range Nilai ϵ_r	+ 25%
VSWR	≤ 2
<i>Return Loss</i>	≥ -10
Bentuk <i>Patch</i>	Sirkular
Teknik Pencatuan	<i>Microstrip Line Feed</i>

3.2 Pemilihan Bahan Antena

Parameter yang dipertimbangkan dalam penelitian kali ini adalah ketebalan substrat (*h*) dan konstanta permitivitas relatif (ϵ_r). Bahan substrat yang digunakan adalah *Roger RT5880* yang memiliki nilai permitivitas relatif (ϵ_r)=2,2 dengan ketebalan substrat (*h*)=1,588 mm. Untuk pemilihan bahan substrat untuk meningkatkan performansi antenna dapat menyesuaikan dengan kebutuhan atau sampai terdapat peningkatan performansi yang diinginkan.

3.3 Skenario Penelitian

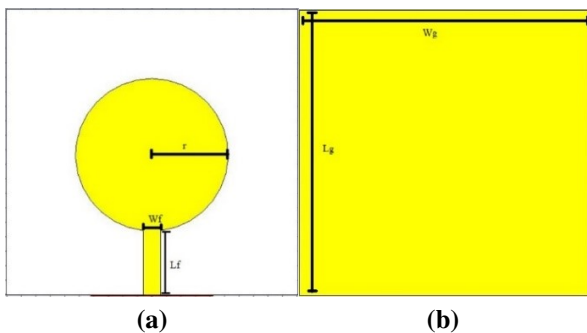
Setelah perancangan antenna mikrostrip *Patch* sirkular, dilakukan peningkatan performansi antenna dengan merubah nilai permitivitas relatif menjadi tidak homogen dengan konfigurasi pada Gambar 1. Range modifikasi nilai permitivitas relatif yang digunakan antara 1,65 2,75 (+25% dari nilai permitivitas relatif yang digunakan). Untuk melihat apakah performansi sudah lebih baik dilihat dari parameter antenna tersebut yaitu VSWR, *Gain*, dan Efisiensi.



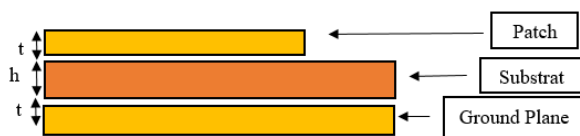
Gambar 1. Rancangan konfigurasi nilai permitivitas relatif tidak homogen

3.4 Desain Antena

Desain antena yang dirancang memiliki 3 bagian yaitu *Ground Plane*, substrat, dan *patch*. *Patch* antena mikrostrip yang digunakan berbentuk sirkular. Bentuk antena tampak depan dapat diilustrasikan pada Gambar 2. Sedangkan bentuk antena tampak samping diilustrasikan pada Gambar 3.



Gambar 2. Antena tampak (a) depan (b)belakang



Gambar 3. Antena tampak samping.

Untuk menentukan dimensi dari patch sirkular, dapat digunakan persamaan berikut [6]:

$$F = \frac{8,971 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \tag{1}$$

$$a = \frac{F}{\left\{ 1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F \left[\ln \left(\frac{2F}{2h} \right) + 1,7726 \right]} \right\}^{\frac{1}{2}}} \tag{2}$$

$$r = a \left\{ 1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r \left[\ln \left(\frac{\pi a}{2h} \right) + 1,7726 \right]} \right\}^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

Dimana f_r adalah Frekuensi resonansi atau frekuensi kerja (Hz), ϵ_r adalah Konstanta permitivitas relatif substrat, h adalah Tebal substrat (mm), dan a adalah Jari-jari *patch* (mm). Pada umumnya, dimensi dari *ground plane* dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

$$W_g = 2a + 6h \tag{4}$$

$$L_g = L_f + 2a + 3h \tag{5}$$

Dimana W_g adalah lebar dari *ground plane* (mm) dan L_g adalah panjang dari *ground plane* (mm).

Tabel 3 menunjukkan parameter antena yang digunakan untuk antena homogen dan tidak homogen yang terlebih dahulu dilakukan simulasi apakah parameter antena tersebut sudah mendapatkan hasil parameter yang optimal.

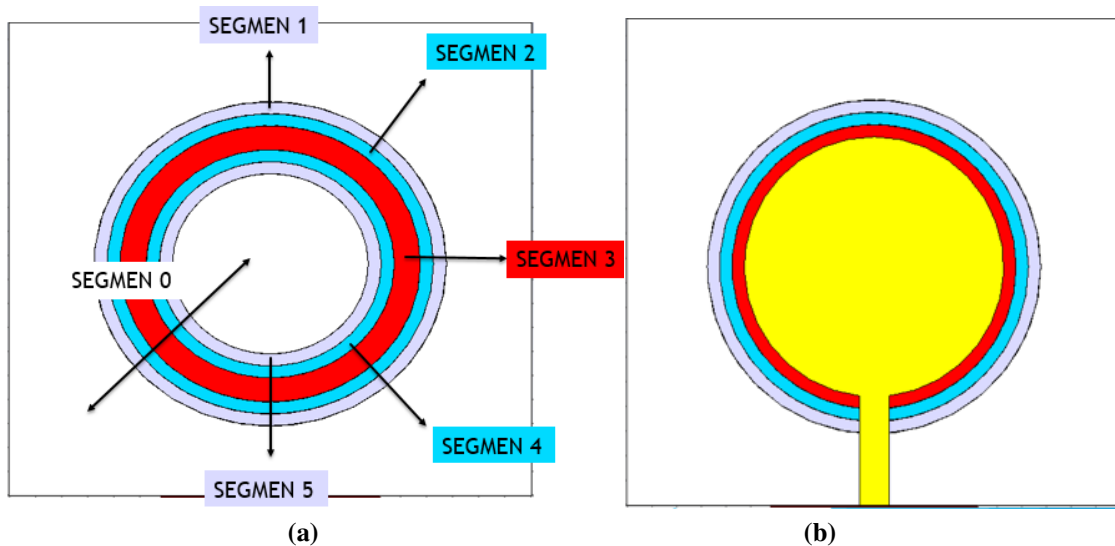
Tabel 3. Parameter Dimensi Antena

Nama	Nilai (mm)	Deskripsi
r	5.25	Jari-jari <i>Patch</i>
wf	1.2	Lebar <i>Feedline</i>
lf	4.4	Panjang <i>Feedline</i>
t	0.05	Tebal <i>Feedline</i>
h	1.588	Tebal Substrat
wg	20.028	Lebar <i>Ground Plane</i>
lg	19.664	Panjang <i>Ground Plane</i>

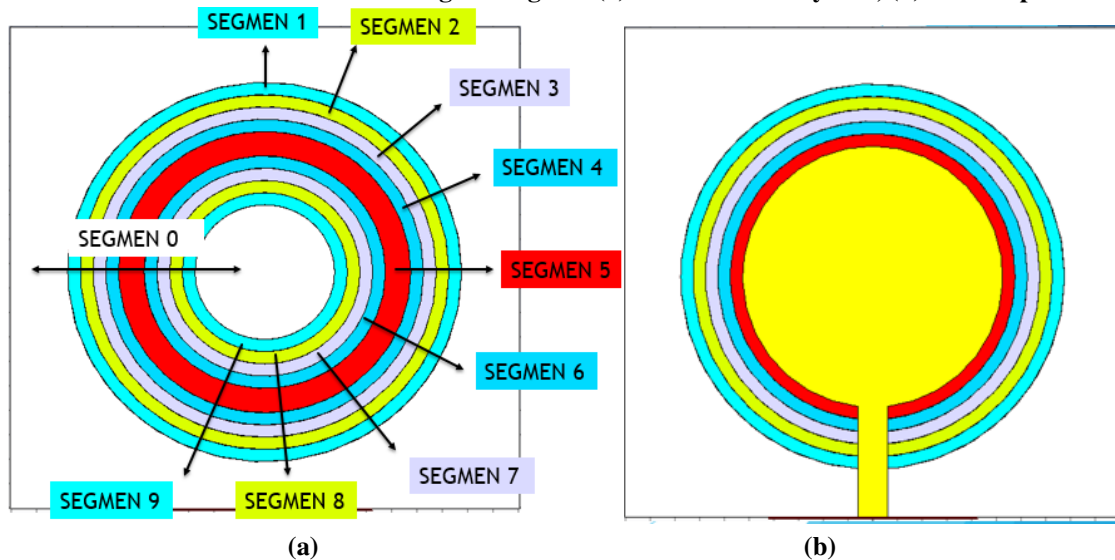
3.5 Skenario Penelitian antena dengan substrat tidak homogen

Pada penelitian ini dilakukan simulasi antena dengan substrat homogen terlebih dahulu. Setelah parameter antena dengan substrat homogen sudah optimal, dirancang antena dengan substrat tidak homogen menggunakan dimensi antena homogen yang sudah optimal. Perancangan antena tidak homogen di bagi menjadi 3 skenario yaitu 5 segmen, 9 segmen, dan 13 segmen seperti ditunjukkan pada Gambar 4, 5, dan 6. Dengan ukuran normal setiap segmen adalah 0,25 mm. hasil parameter selanjutnya akan diverifikasi dengan 2 simulator. Parameter yang dibandingkan adalah *Bandwidth* dan *Gain*.

Range nilai yang akan digunakan pada antena tidak homogen yaitu 18% dan 25%. Setiap *range* nilai pada setiap segmen dilakukan meningkat dan juga menurun. Untuk *range* nilai 25% memiliki *range* nilai meningkat 2,2-2,75, sedangkan untuk yang menurun 2,2-1,65. Untuk *range* nilai 18% memiliki *range* nilai meningkat 2,2-2,59, sedangkan yang menurun 2,2-1,81.



Gambar 4. Antena Substrat Tidak Homogen 5 segmen (a) Patch disembunyikan, (b) Patch diperlihatkan



Gambar 5. Antena Substrat Tidak Homogen 9 segmen (a) Patch disembunyikan, (b) Patch diperlihatkan

4. ANALISIS

4.1 Parameter Antena dengan Substrat Homogen $\epsilon_r = 2,2$

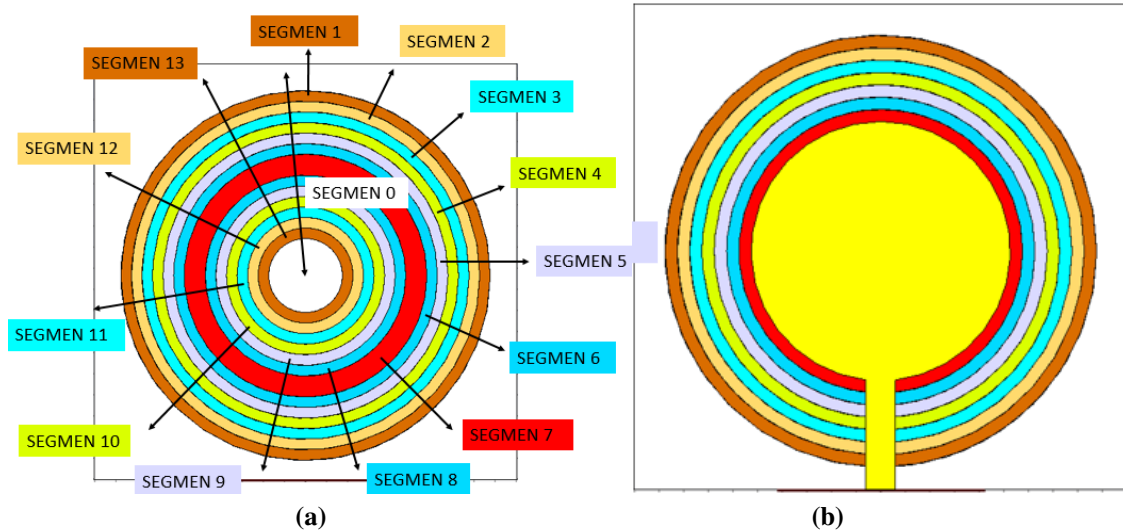
Digunakan 2 simulator untuk memverifikasi hasil simulasi. Selanjutnya hasil simulasi akan dianalisis apakah perancangan antena substrat Tidak Homogen dapat menghasilkan performansi yang lebih baik dari antena substrat homogen. Parameter yang diamati yaitu *Bandwidth* dan *Gain*.

Pada simulasi antena dengan substrat homogen didapatkan *Bandwidth* 433 MHz pada simulator 1 dan sebesar 434,1 MHz pada simulator 2. Dapat diamati nilai *Bandwidth* pada simulator 2 lebih besar dibandingkan dengan nilai pada simulator 1. Didapatkan hasil simulasi nilai *Gain* pada 2 simulator. Nilai *Gain* untuk antena dengan substrat homogen

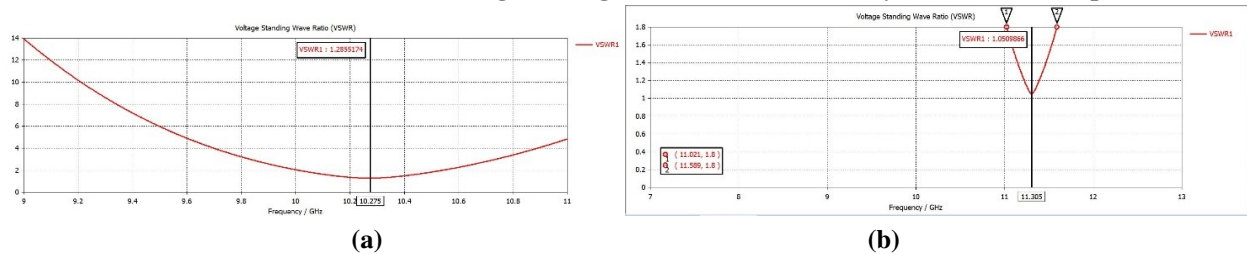
pada simulator 1 yaitu 6,313 dB, sedangkan nilai *Gain* pada simulator 2 yaitu 7,7797 dB. Untuk jenis pola radiasi untuk antena dengan substrat homogen pada 2 simulator yaitu *Unidirectional* dengan *side back lobe* yang kecil.

4.2 Parameter Antena dengan Substrat Homogen $\epsilon_r = 1,65$

Antena dengan substrat homogen pada dimensi yang sama, jika nilai permitivitas relatif diturunkan menjadi 1,65 (25%) maka dihasilkan nilai *bandwidth* dan *gain* yang lebih besar dengan frekuensi tengah yang bergeser ke kanan. Peningkatan nilai *bandwidth* yang terjadi sebesar 137,1 MHz atau sebesar 31,62% daripada nilai *bandwidth* dengan substrat homogen $\epsilon_r = 2,2$. Sedangkan peningkatan nilai *gain* yang terjadi sebesar 1,0456 dBi atau sebesar 15,35%



Gambar 6. Antena Substrat Tidak Homogen 13 segmen (a) Patch disembunyikan, (b) Patch diperlihatkan



Gambar 7. Antena Substrat Tidak Homogen 13 segmen (a) Patch disembunyikan, (b) Patch diperlihatkan

daripada nilai gain dengan substrat homogen $\epsilon_r = 2,2$.

4.3 Parameter Antena dengan Substrat Homogen $\epsilon_r= 2,75$

Antena dengan substrat homogen pada dimensi yang sama, jika nilai permitivitas relatif dinaikkan menjadi 2,75 (25%) maka dihasilkan nilai *bandwidth* dan *gain* yang lebih kecil dengan frekuensi tengah yang bergeser ke kiri. Penurunan nilai *bandwidth* yang terjadi sebesar 228,35 MHz atau sebesar 52,67% daripada nilai *bandwidth* dengan substrat homogen $\epsilon_r = 2,2$. Sedangkan penurunan nilai *gain* yang terjadi sebesar 0,49525 dBi atau sebesar 7,27% daripada nilai *gain* dengan substrat homogen $\epsilon_r = 2,2$.

4.4 Parameter Antena dengan Substrat Tidak Homogen

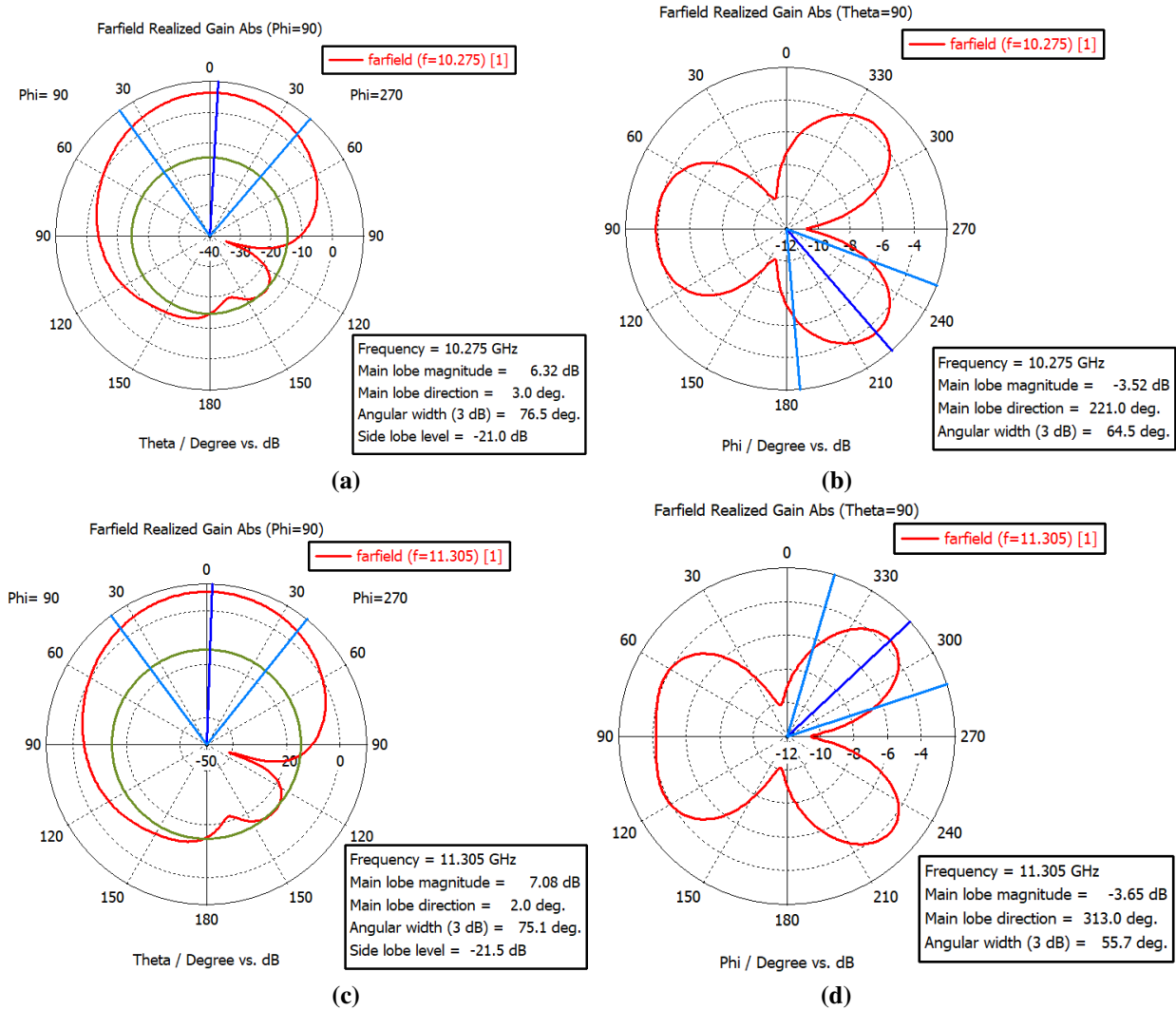
Dari hasil simulasi didapatkan adanya perubahan nilai *Bandwidth*. Untuk peningkatan *range* nilai ketika diperbesar sebanyak 2 sampai 3 kali dari ukuran normal segmen, nilai *Bandwidth* akan mengalami penurunan dan ketika diperkecil akan mengalami peningkatan. Untuk penurunan *range* nilai ketika diperbesar sebanyak 2 sampai 3 kali dari ukuran normal segmen nilai *Bandwidth* mengalami peningkatan dan ketika diperkecil akan mengalami

penurunan. Untuk frekuensi tengah dari antena akan bergeser ke kanan (bertambah) pada saat ukuran segmen diperkecil dan akan bergeser ke kiri (berkurang) pada saat ukuran segmen diperbesar baik pada simulator 1 maupun simulator 2. Pada penelitian ini didapatkan hasil *Gain* dan pola radiasi antena. Untuk peningkatan *range* nilai ketika diperbesar sebanyak 2 sampai 3 kali dari ukuran normal segmen nilai *Gain* akan mengalami penurunan nilai, sedangkan ketika diperkecil akan mengalami peningkatan. Untuk penurunan *range* nilai ketika diperbesar sebanyak 2 sampai 3 kali dari ukuran normal segmen nilai *Gain* akan mengalami peningkatan nilai, sedangkan ketika diperkecil akan mengalami penurunan. Pada simulator 2 untuk *range* nilai turun ketika diperbesar maupun diperkecil nilai *Gain* akan mengalami peningkatan.

4.5 Analisis Perubahan Performansi Antena

Analisis perubahan performansi antena yang dilakukan pada penelitian ini adalah membandingkan antena substrat homogen dengan skenario penelitian antena tidak homogen yang telah dilakukan.

Dari simulasi yang sudah dilakukan, terdapat pola yang berulang dari modifikasi substrat tidak homogen. Pada kondisi peningkatan nilai permitivitas relatif, semakin besar jumlah segmen dan *range* nilai



Gambar 8. Hasil *gain* antenna, (a) substrat dengan nilai permitivitas relatif homogen bidang *azimuth*, (b) substrat dengan nilai permitivitas relatif homogen bidang elevasi, (c) substrat 13 segmen dengan penurunan nilai permitivitas relatif tidak homogen 25% untuk lebar 0,5mm bidang *azimuth*, dan (d) substrat 13 segmen dengan penurunan nilai permitivitas relatif tidak homogen 25% untuk lebar 0,5mm bidang elevasi.

permitivitas maka nilai *bandwidth* akan semakin kecil, frekuensi tengah akan bergeser ke kiri (berkurang), dan *gain* akan semakin kecil. Pada kondisi penurunan nilai permitivitas relatif, semakin besar jumlah segmen dan *range* nilai permitivitas maka nilai *bandwidth* akan semakin besar, frekuensi tengah akan bergeser ke kanan (bertambah), dan *gain* akan semakin besar.

Antena dengan substrat homogen pada dimensi yang sama, jika nilai permitivitas relatif diturunkan menjadi 1,65 (25%) maka dihasilkan nilai *bandwidth* dan *gain* yang lebih besar dengan frekuensi tengah yang bergeser ke kanan. Untuk frekuensi tengah yang sama dengan substrat tidak homogen 13 segmen dengan range nilai permitivitas relatif sebesar 25% dan lebar segmen sebesar 0,5 mm, didapatkan nilai *gain*

yang lebih besar, nilai *bandwidth* yang lebih kecil, dan ukuran *patch* yang lebih besar. Sebaliknya, jika nilai permitivitas relatif dinaikkan menjadi 2,75 (25%) maka dihasilkan nilai *bandwidth* dan *gain* yang lebih kecil dengan frekuensi tengah yang bergeser ke kiri.

Untuk mendapatkan nilai *bandwidth* yang optimal digunakan substrat tidak homogen 13 segmen dengan nilai permitivitas relatif diturunkan sebesar 25% untuk lebar segmen 0,5 mm. Peningkatan nilai *bandwidth* yang terjadi sebesar 128,15 MHz (29,558%) daripada nilai *bandwidth* dengan substrat homogen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Peningkatan nilai *gain* yang terjadi sebesar 0.8076 dBi (11,855%) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8 dan frekuensi tengah dari antenna bergeser ke kanan

Tabel 4. Nilai performansi antenna hasil simulasi berdasarkan 2 simulator

No	Nilai Permittivitas Relatif	Ukuran Segmen (mm)	Frekuensi Tengah (GHz)	BW di VSWR <1,5 (MHz)	Gain (dBi)	No	Nilai Permittivitas Relatif	Ukuran Segmen (mm)	Frekuensi Tengah (GHz)	BW di VSWR <1,5 (MHz)	Gain (dBi)
1	Homogen 2,75 (FS)		9,528	207,7	6,39	22	Homogen 1,65 (DS)		11,587	570,6	7,86
2	Homogen 2,75 (DS)		9,279	205,2	6,32	23	Homogen 1,65 (FS)		11,245	539,5	7,82
3	Meningkat 25% 13 Segmen	0,25	9,682	326,9	6,70	24	Menurun 18% 5 Segmen	0,25	10,536	475,8	7,14
4		0,5	9,459	257,2	6,54	25		0,5	10,722	503,5	7,28
5		0,125	9,887	373,0	6,79	26		0,125	10,429	456,8	7,00
6	Meningkat 18% 13 Segmen	0,25	9,841	365,0	6,80	27	Menurun 25% 5 Segmen	0,25	10,662	491,2	7,22
7		0,5	9,677	323,3	6,69	28		0,5	10,931	527,5	7,42
8		0,125	9,988	390,4	6,85	29		0,125	10,503	470,3	7,07
9	Meningkat 25% 9 Segmen	0,25	9,760	349,7	6,78	30	Menurun 18% 9 Segmen	0,25	10,640	493,5	7,17
10		0,5	9,536	288,6	6,59	31		0,5	10,852	523,4	7,33
11		0,125	9,948	384,0	6,03	32		0,125	10,493	471,5	7,02
12	Meningkat 18% 9 Segmen	0,25	9,898	379,0	6,81	33	Menurun 25% 9 Segmen	0,25	10,806	516,0	7,22
13		0,5	9,737	343,1	6,70	34		0,5	11,116	554,2	7,50
14		0,125	10,036	400,4	6,90	35		0,125	10,592	482,5	7,07
15	Meningkat 25% 5 Segmen	0,25	9,867	369,0	6,90	36	Menurun 18% 13 Segmen	0,25	10,711	500,8	7,33
16		0,5	9,660	324,2	6,75	37		0,5	10,919	531,0	7,33
17		0,125	10,030	400,5	6,87	38		0,125	10,542	467,3	7,07
18	Meningkat 18% 5 Segmen	0,25	9,971	389,2	6,89	39	Menurun 25% 13 Segmen	0,25	10,924	528,3	7,39
19		0,5	9,816	362,2	6,84	40		0,5	11,244	561,7	7,62
20		0,125	10,093	412,8	6,92	41		0,125	10,670	496,0	7,15
21	Homogen		Frekuensi Tengah 10,237 GHz		BW di VSWR <1,5 sebesar 433,55 MHz		Gain 7,04635 dBi				

(bertambah) sebesar 1,0075 GHz (9,842%) daripada frekuensi tengah dengan substrat homogen. Sedangkan, untuk mendapatkan nilai *gain* yang optimal digunakan substrat homogen dengan nilai permitivitas relatif diturunkan sebesar 25% pada frekuensi 11,24 GHz. Peningkatan nilai *gain* yang terjadi sebesar 1.004 dBi (14,73%) dan nilai *bandwidth* yang terjadi sebesar 105,95 MHz (24,44%) daripada antenna dengan substrat homogen.

Tabel 4. Menunjukkan hasil simulasi secara keseluruhan berdasarkan 2 simulator. FS adalah Frekuensi Sama dengan substrat tidak homogen terbaik. DS adalah Dimensi Sama dengan Homogen.

5. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan simulasi pada antenna dengan substrat tidak homogen pada frekuensi *X Band*. Simulasi pada penelitian kali ini dilakukan dengan 3 skenario antenna dengan substrat tidak homogen dan dapat disimpulkan Antena dengan substrat tidak homogen dapat mempengaruhi hasil dari performansi antenna, yaitu pergeseran frekuensi tengah, nilai *Bandwidth* dan *Gain*. Konfigurasi substrat tidak homogen yang baik adalah ketika substrat memiliki banyak jumlah segmen dan ukuran dari setiap segmen

diperbesar. Menaikkan nilai permitivitas dari nilai homogen dapat menggeser frekuensi tengah ke kiri (berkurang), tetapi akan menurunkan nilai *bandwidth* dan *gain*. Performansi antenna yang paling baik berupa peningkatan *bandwidth* sebesar 128,15 MHz (29,558%), *gain* sebesar 0.8076 dBi (11,855%), dan frekuensi tengah dari antenna bergeser ke kanan (bertambah) sebesar 1,0075 GHz (9,842

Daftar Pustaka

[1] C. A. Balanis, *Antenna theory: analysis and design*. John wiley & sons, 2016.

[2] T. F. A. Nayna, A. Baki, and F. Ahmed, "Comparative study of rectangular and circular microstrip patch antennas in x band," in *2014 International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology*. IEEE, 2014, pp. 1–5.

[3] S. S. Bukhari and W. Whittow, "Heterogeneous substrate microstrip antenna with enhanced bandwidth," in *2013 Loughborough Antennas & Propagation Conference (LAPC)*. IEEE, 2013, pp. 213–216.

- [4] W. G. Whittow, S. S. Bukhari, L. A. Jones, and I. L. Morrow, "Applications and future prospects for microstrip antennas using heterogeneous and complex 3-d geometry substrates," *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 144, pp. 271–280, 2014.
- [5] A. Kunwar, A. K. Gautam, and K. Rambabu, "Design of a compact u-shaped slot triple band antenna for wlan/wimax applications," *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, vol. 71, pp. 82–88, 2017.
- [6] A. Lab Antena, *Design of Array Antenna For Wireless Communication with CST*. Antena Laboratory, 2017.