

PENGARUH NILAI PERMITIVITAS RELATIF TIDAK HOMOGEN TERHADAP PERFORMANSI PADA ANTENA MIKROSTRIP SINGLE LAYER PATCH RECTANGULAR FREKUENSI 2,4 – 2,5 GHZ

EFFECT OF NON-HOMOGENEOUS RELATIVE PERMITIVITY VALUES ON PERFORMANCE IN SINGLE LAYER RECTANGULAR MICROSTRIP PATCH ANTENNA FREQUENCY 2,4 – 2,5 GHZ

Farhan Awwaliy Maulana Muhammad¹, Bambang Sumajudin², Edwar³

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

¹farhanawwaliymm1@gmail.com, ²sumajudin@telkomuniversity.ac.id, ³eduatgugel@gmail.com

Abstrak

Antena mikrostrip merupakan antena yang sering digunakan untuk berbagai keperluan karena ukuran yang kecil dan biaya yang murah. Masalah yang dihadapi ketika menggunakan antena mikrostrip adalah *bandwidth* dan *gain* yang tidak terlalu besar. 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. Pada penelitian ini, dilakukan perancangan menggunakan antena mikrostrip *single layer patch rectangular* frekuensi 2,4 -2,5 GHz dengan modifikasi pada substrat antena menjadi tidak homogen agar mendapatkan performansi antena yang lebih baik. Modifikasi dilakukan di sekitar tepi patch yang terbagi menjadi tiga jenis segmen, yaitu 5 segmen, 9 segmen, dan 13 segmen. *Range* nilai permitivitas relatif yang digunakan terbagi menjadi dua, yaitu $\pm 18\%$ dan $\pm 25\%$ dari nilai substrat homogen. Hasil dari perancangan antena ini adalah meningkatnya performansi antena dimana peningkatan paling besar berupa nilai *bandwidth* dan *gain* yang terjadi pada saat kondisi substrat tidak homogen 13 segmen dengan *range* nilai permitivitas relatif sebesar 25% dan lebar segmen sebesar 1,8 mm. Peningkatan nilai *bandwidth* yang terjadi sebesar 9,95 MHz atau sebesar 23,275% daripada nilai *bandwidth* dengan substrat homogen. Sedangkan peningkatan nilai *gain* yang terjadi sebesar 0,710 dBi atau sebesar 22% daripada nilai *gain* dengan substrat homogen. Untuk frekuensi tengah dari antena bergeser ke kanan (bertambah) sebesar 295,2 MHz atau sebesar 11,985% daripada frekuensi tengah dengan substrat homogen.

Kata kunci: Antena Mikrostrip, Single Layer Patch Rectangular, Permitivitas Relatif Tidak Homogen, Inset Feed Line, Epoxy FR4

Abstract

Microstrip antenna is an antenna that is often used for various purposes because of its small size and low cost. The problem faced when using a microstrip antenna is the bandwidth and gain that are not too large. Using a substrate with a low permittivity value will produce large bandwidth but with larger dimensions and smaller gain. Conversely, using a substrate with a high permittivity value will produce a large gain and smaller dimensions but with a small bandwidth. In this study, we designed a single layer patch rectangular microstrip antenna with a frequency of 2.4-2.5 GHz with modifications to the antenna substrate to be not homogeneous to obtain better antenna performance. Modifications are carried out around the edge of the patch which is divided into three types of segments, namely 5 segments, 9 segments, and 13 segments. The range of the relative permittivity values used is divided into two, namely + 18% and + 25% of the value of the homogeneous substrate. The results of this antenna design are increasing antenna performance where the greatest increase is in the form of bandwidth and gain values that occur when 13 segment non-homogeneous substrate conditions with a range of relative permittivity values of 25% and segment widths of 1.8 mm. The increase in bandwidth value is 9.95 MHz or 23.275% compared to the bandwidth value with a homogeneous substrate. While the increase in the gain value is 0.710 dBi or 22% rather than the gain value with a homogeneous substrate. The center frequency of the antenna shifts to the right (increases) by 295.2 MHz or 11.985% rather than the center frequency with a homogeneous substrate

Keywords: Microstrip Antenna, Single Layer Patch Rectangular, Non-Homogeneous Relative Permittivity, Inset Feed Line, Epoxy FR4

1. Pendahuluan

Antena mikrostrip merupakan antena yang sering digunakan untuk berbagai keperluan karena ukuran yang kecil dan biaya yang murah. Masalah yang dihadapi ketika menggunakan antena mikrostrip adalah *bandwidth* dan *gain* yang tidak terlalu besar. 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]–[3].

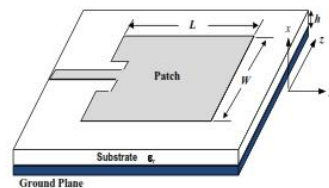
Antena mikrostrip memiliki 3 bagian, yaitu *patch*, substrat, dan *ground plane* dimana setiap bagian mempunyai jenis bahan yang berbeda. Pada penelitian sebelumnya, *patch* dan *ground plane* memiliki jenis bahan *copper*. Sedangkan substrat memiliki jenis bahan dielektrik. Bahan substrat yang digunakan adalah *Epoxy FR4* dengan nilai permitivitas relatif 4,65 dan ketebalan 1,6 mm. Teknik pencatutan yang digunakan adalah *inset feed line*, dimana memungkinkan untuk memperoleh *matching impedance* yang lebih baik[4].

Peningkatan performansi pada antena mikrostrip sangat dimungkinkan. Terdapat banyak metode yang dapat dilakukan untuk meningkatkan performansi antena. Penulis tertarik untuk mengetahui pengaruh dari nilai permitivitas relatif terhadap peningkatan performansi antena. Oleh sebab itu, penulis akan mengangkat topik tentang “Pengaruh Nilai Permitivitas Relatif Tidak Homogen Terhadap Performansi pada Antena Mikrostrip *Single Layer Patch Rectangular* Frekuensi 2,4 – 2,5 GHz”. Diharapkan dengan mengubah nilai permitivitas relatif dari substrat yang selama ini bernilai homogen pada sebuah antena mikrostrip dapat meningkatkan performansi antena sehingga dapat memperkecil kelemahan dari antena mikrostrip.

2. Konsep Dasar dan Metodologi Perancangan

2.1. Antena Mikrostrip

Antena Mikrostrip adalah salah satu jenis antena yang sangat populer dan mudah digunakan. Kelebihan antena mikrostrip dibandingkan antena lain adalah memiliki ukuran yang murah, kecil, mudah di produksi, dan memiliki polarisasi sirkular ataupun linier. Sedangkan kelemahannya adalah memiliki *bandwidth* (BW) yang sempit, *gain* yang kecil, dan bekerja pada tegangan atau daya yang rendah. Gambar 1 menunjukkan susunan dari antena mikrostrip yang terbagi menjadi 3 bagian yaitu *patch*, *substrate*, dan *ground plane*[1], [4]–[6].



Gambar 1. Antena Mikrostrip.

2.2. Permitivitas

Permitivitas merupakan karakteristik dari bahan yang menjelaskan kemampuan dalam memengaruhi dan dipengaruhi medan listrik serta kemampuan terpolarisasi sebagai respon dari medan listrik tersebut. Permitivitas relatif merupakan karakteristik dari bahan yang terpengaruh oleh nilai permitivitas ruang hampa. Menggunakan nilai permitivitas yang rendah akan menghasilkan antena dengan *bandwidth* yang besar tetapi dengan dimensi yang lebih besar dan *gain* yang kecil. Sebaliknya, menggunakan nilai permitivitas yang tinggi akan menghasilkan antena dengan *gain* yang besar dan dimensi yang lebih kecil tetapi dengan *bandwidth* yang kecil[1]–[3], [7].

Tabel 1. Nilai permitivitas relatif berdasarkan jenis bahan.

Jenis Bahan	Permitivitas Relatif (ϵ_r)
Udara	1
Foam	1,07
Fr-4 Epoxy	4,1 - 4,4
RT/Duroid 5880	2,2
Polyesterene-quartz	2,6
Teflon-ceramic	2,3
Polyolefin-ceramic	3 – 10
Polyester-ceramic	6
Silicon	3 – 25

Sifat dari gelombang elektromagnetik dipengaruhi oleh jenis bahan yang memiliki nilai permitivitas relatif (ϵ_r) dan permeabilitas relatif (μ_r) yang berbeda-beda. Jenis bahan substrat pada antena mikrostrip tersusun secara homogen karena mudah untuk menentukan dan mencetak bahan substrat yang akan dibuat. Tabel 1 menunjukkan nilai permitivitas relatif dari setiap jenis bahan substrat. Ketebalan substrat paling berpengaruh pada perubahan *bandwidth*. Semakin tebal substrat, maka *bandwidth* akan semakin besar, tetapi akan menyebabkan timbulnya gelombang permukaan (*Surface Wave*)[1] - [3], [8].

2.3. Substrat

Substrat pada antenna mikrostrip terbuat dari bahan dielektrik yang mempunyai fungsi sebagai pemisah antara *patch* dan *ground plane*. Pada umumnya, substrat memiliki ukuran dimensi yang sama dengan *ground plane*, dimana ketebalan substrat biasanya jauh lebih besar daripada ketebalan tembaga. Substrat memiliki jenis bahan, nilai permitivitas relatif, faktor disipasi (*loss tangent*), dan ketebalan yang berbeda-beda. Perbedaan tersebut berpengaruh pada frekuensi kerja, *bandwidth*, dan efisiensi dari antenna yang dirancang[1], [4]-[9].

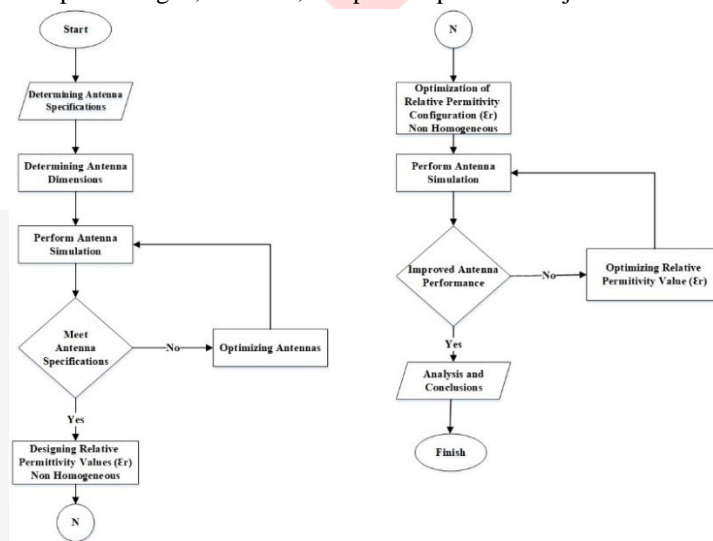
Pada percobaan yang telah dilakukan[10], [11], [12] menunjukkan bahwa performansi antenna dapat ditingkatkan dengan cara mengubah nilai permitivitas relatif atau mencampurkan beberapa jenis bahan yang memiliki nilai permitivitas relatif yang berbeda ke dalam satu susunan substrat. Pencampuran substrat dapat berupa slot atau membuat substrat dalam bentuk kubus kecil dan menyisipkan jenis substrat lain ke dalamnya. Bahan campuran di dalam susunan substrat akan memiliki dampak yang berbeda-beda sesuai dengan letak dan jenis bahan yang digunakan.

3. Perancangan

Perancangan antenna dimulai dari menentukan diagram alir perancangan, spesifikasi perancangan, pemilihan bahan antenna, perhitungan dimensi antenna, dan desain dari antenna yang digunakan.

3.1. Diagram Alir Perancangan

Tahap - tahap dalam perancangan, simulasi, sampai tahap analisis dijelaskan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir perancangan tugas akhir.

3.2. Spesifikasi Antena

Sebelum melakukan perancangan, terlebih dahulu menentukan spesifikasi antenna yang diinginkan. Spesifikasi yang diinginkan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi antenna.

Frekuensi Kerja	2,4 – 2,5 GHz
Range Nilai ϵ_r	$\pm 18\%$ dan 25%
VSWR	$\leq 1,5$
Bentuk Patch	<i>Rectangular</i>
Teknik Pencatuan	<i>Inset Feed Line</i>

3.3. Pemilihan Bahan Antena

Bahan yang digunakan adalah *Epoxy FR4* yang mempunyai permitivitas relatif (ϵ_r) = 4,65 dengan ketebalan substrat (h) = 1,6 mm. Pemilihan bahan substrat untuk meningkatkan performansi antenna dapat menyesuaikan dengan kebutuhan atau sampai terdapat peningkatan performansi yang diinginkan.

3.4. Dimensi Antena

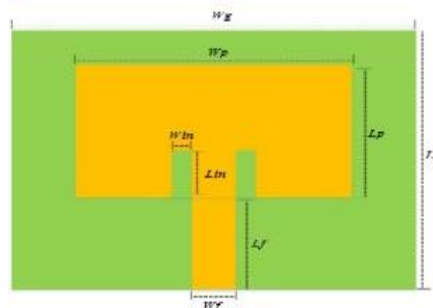
Sebelum melakukan modifikasi pada substrat, maka dibuat antenna homogen yang memiliki dimensi antenna seperti pada Tabel 3. Dimensi yang digunakan merupakan dimensi antenna yang sudah ada, kemudian akan dilakukan optimalisasi untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dan agar menunjang percobaan yang akan dilakukan.

Tabel 3. Nilai dimensi antenna.

Variabel	Nilai (mm)	Deskripsi
W_p	36,46	Lebar <i>patch</i>
L_p	27,1	Panjang <i>patch</i>
W_g	40	Lebar <i>ground plane</i>
L_g	50	Panjang <i>ground plane</i>
W_f	1,8	Lebar <i>feed line</i>
L_f	16,4	Panjang <i>feed line</i>
W_{in}	0,54	Lebar <i>inset feed</i>
L_{in}	5	Panjang <i>inset feed</i>
H	1,6	Ketebalan substrat
T	0,035	Ketebalan tembaga

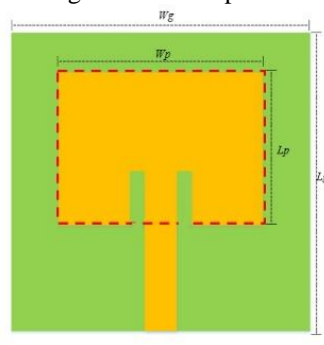
3.5. Desain Antena

Gambar 4 menunjukkan desain antenna yang dirancang, dimana memiliki 3 bagian yaitu *patch*, substrat, dan *ground plane*. Gambar 3 menunjukkan *patch* antenna mikrostrip yang digunakan berbentuk *rectangular* dengan saluran pencatu menggunakan teknik *inset feed line*.

**Gambar 3.** Antena tampak depan.**Gambar 4.** Antena tampak samping.

3.6 Skenario Penelitian

Setelah perancangan antenna mikrostrip *single layer patch rectangular*, dilakukan peningkatan performansi antenna dengan mengubah nilai permitivitas relatif menjadi tidak homogen. Jenis dielektrik yang digunakan adalah *Epoxy FR4* dengan nilai permitivitas relatif (ϵ_r) = 4,65. Gambar 5 menunjukkan rancangan konfigurasi nilai permitivitas relatif tidak homogen dilakukan pada daerah transisi dari *patch* ke substrat.

**Gambar 5.** Konfigurasi nilai permitivitas relatif tidak homogen.

3.7. Skenario Penelitian Substrat Tidak Homogen

Percobaan yang diamati pada Tugas Akhir ini dibagi menjadi beberapa jenis, berdasarkan jumlah segmentasi, *range* nilai permitivitas relatif, dan perubahan nilai permitivitas tiap segmen. Simulasi yang dilakukan berdasarkan pada desain antenna dengan substrat homogen, lalu melakukan modifikasi pada substrat tersebut. Modifikasi substrat yang digunakan dibagi menjadi 3 jenis segmen, yaitu 5 segmen, 9 segmen, dan 13 segmen, dimana memiliki lebar 1,2 mm kemudian dilakukan perubahan ukuran menjadi 1,8 mm dan 0,6 mm. *Range* nilai permitivitas tidak homogen yang digunakan dibagi menjadi dua, yaitu 18% dan 25%, dimana terdapat nilai permitivitas relatif yang meningkat dan menurun sesuai dengan *range* tersebut.

4. Analisis

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

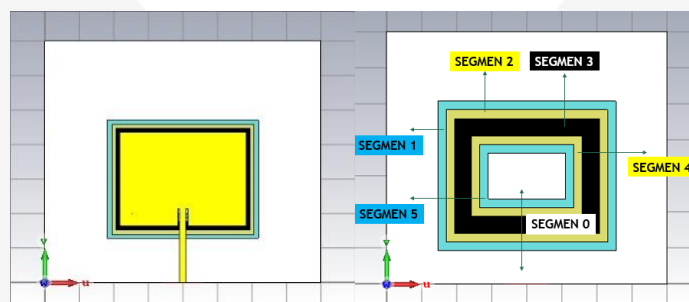
4.1. Parameter Antena dengan Substrat Homogen

Hasil simulasi antenna dengan substrat homogen memiliki nilai *bandwidth* sebesar 43,9 MHz pada simulator 1 dan 41,6 MHz pada simulator 2. Sedangkan untuk frekuensi tengah dari antenna tersebut terletak di frekuensi 2,4408 GHz pada simulator 1 dan 2,4853 pada simulator 2. Untuk hasil nilai *gain* antenna dengan substrat homogen, didapatkan nilai *gain* sebesar 2,760 dBi pada simulator 1 dan 3,694 dBi pada simulator 2. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai *bandwidth* pada simulator 1 lebih besar dibandingkan simulator 2 dan simulator 1 memiliki frekuensi tengah yang lebih rendah dibandingkan simulator 2. Sedangkan nilai *gain* simulator 2 lebih besar daripada simulator 1.

4.2. Parameter Antena dengan Substrat Tidak Homogen

4.2.1. Skenario Antena Tidak Homogen 5 Segmen

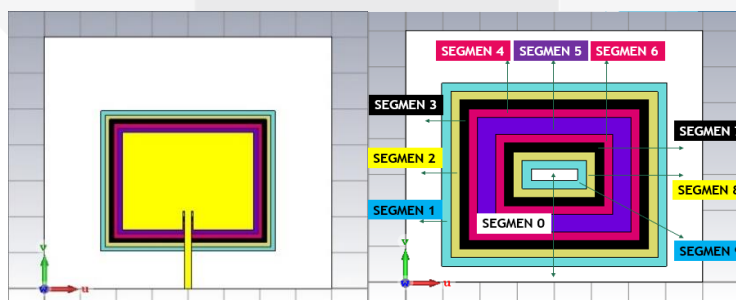
Pada kondisi peningkatan nilai permitivitas relatif, nilai *bandwidth* dan *gain* akan meningkat ketika ukuran segmen diperkecil menjadi 0,6 mm. Sebaliknya, nilai *bandwidth* dan *gain* akan mengalami penurunan ketika ukuran segmen diperbesar menjadi 1,8 mm pada simulator 1 maupun simulator 2. Untuk frekuensi tengah dari antenna 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 kondisi penurunan nilai permitivitas relatif, nilai *bandwidth* dan *gain* akan meningkat ketika ukuran segmen diperbesar menjadi 1,8 mm. Sebaliknya, nilai *bandwidth* dan *gain* akan mengalami penurunan ketika ukuran segmen diperkecil menjadi 0,6 mm pada simulator 1 maupun simulator 2. Untuk frekuensi tengah dari antenna akan bergeser ke kanan (bertambah) pada saat ukuran segmen diperbesar dan akan bergeser ke kiri (berkurang) pada saat ukuran segmen diperkecil baik pada simulator 1 maupun simulator 2. Gambar 6 menunjukkan antenna dengan substrat tidak homogen 5 segmen.



Gambar 6. Modifikasi substrat tidak homogen 5 segmen. (a) tampak patch, (b) tanpa patch.

4.2.2. Skenario Antena Tidak Homogen 9 Segmen

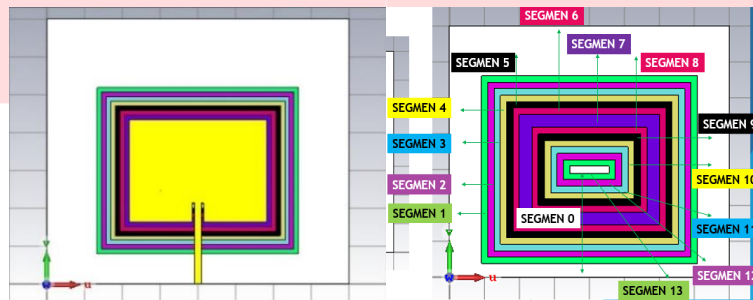
Pada kondisi peningkatan nilai permitivitas relatif, nilai *bandwidth* dan *gain* akan meningkat ketika ukuran segmen diperkecil menjadi 0,6 mm. Sebaliknya, nilai *bandwidth* dan *gain* akan mengalami penurunan ketika ukuran segmen diperbesar menjadi 1,8 mm pada simulator 1 maupun simulator 2. Untuk frekuensi tengah dari antenna 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 kondisi penurunan nilai permitivitas relatif, nilai *bandwidth* dan *gain* akan meningkat ketika ukuran segmen diperbesar menjadi 1,8 mm. Sebaliknya, nilai *bandwidth* dan *gain* akan mengalami penurunan ketika ukuran segmen diperkecil menjadi 0,6 mm pada simulator 1 maupun simulator 2. Untuk frekuensi tengah dari antenna akan bergeser ke kanan (bertambah) pada saat ukuran segmen diperbesar dan akan bergeser ke kiri (berkurang) pada saat ukuran segmen diperkecil baik pada simulator 1 maupun simulator 2. Gambar 7 menunjukkan antenna dengan substrat tidak homogen 9 segmen.



Gambar 7. Modifikasi substrat tidak homogen 9 segmen. (a) tampak patch, (b) tanpa patch.

4.2.3. Skenario Antena Tidak Homogen 13 Segmen

Pada kondisi peningkatan nilai permitivitas relatif, nilai *bandwidth* dan *gain* akan meningkat ketika ukuran segmen diperkecil menjadi 0,6 mm. Sebaliknya, nilai *bandwidth* dan *gain* akan mengalami penurunan ketika ukuran segmen diperbesar menjadi 1,8 mm pada simulator 1 maupun simulator 2. Untuk frekuensi tengah dari antenna 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 kondisi penurunan nilai permitivitas relatif, nilai *bandwidth* dan *gain* akan meningkat ketika ukuran segmen diperbesar menjadi 1,8 mm. Sebaliknya, nilai *bandwidth* dan *gain* akan mengalami penurunan ketika ukuran segmen diperkecil menjadi 0,6 mm pada simulator 1 maupun simulator 2. Untuk frekuensi tengah dari antenna akan bergeser ke kanan (bertambah) pada saat ukuran segmen diperbesar dan akan bergeser ke kiri (berkurang) pada saat ukuran segmen diperkecil baik pada simulator 1 maupun simulator 2. Gambar 8 menunjukkan antenna dengan substrat tidak homogen 13 segmen.



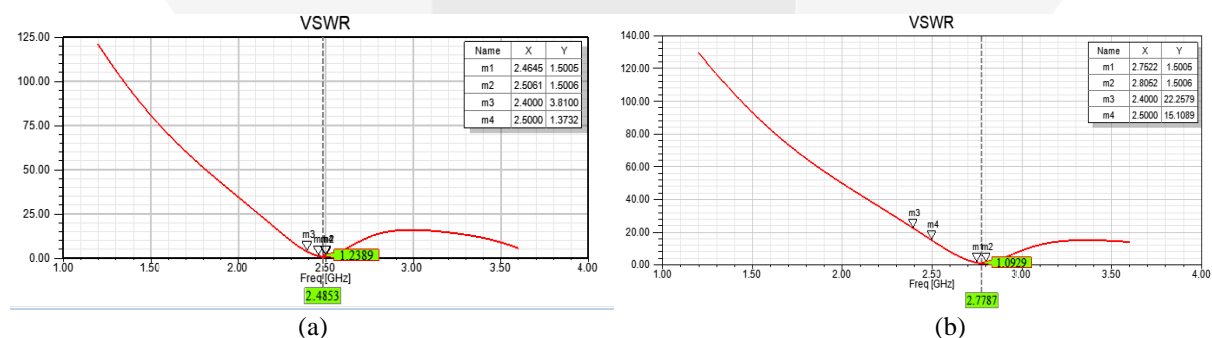
Gambar 8. Modifikasi substrat tidak homogen 13 segmen. (a) Tampak patch, (b) Tanpa patch.

4.2. Analisis Performansi Antena

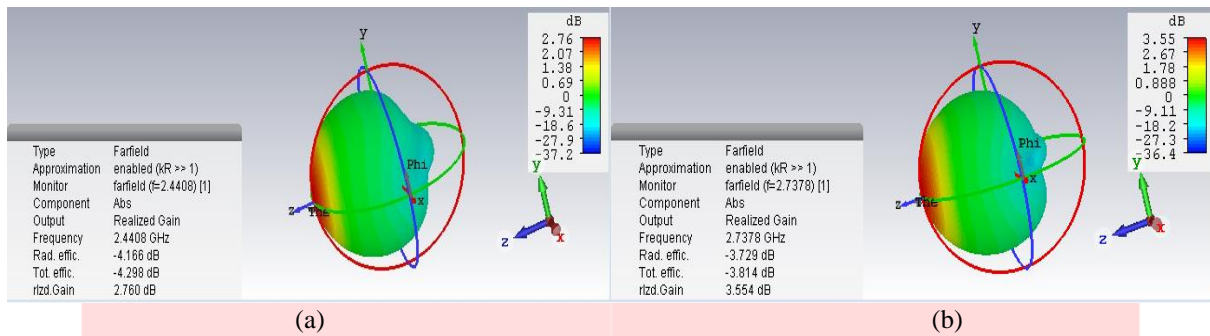
Dari simulasi yang sudah dilakukan pada **Error! Reference source not found.**, terdapat pola yang berulang dari modifikasi substrat tidak homogen. Pada kondisi peningkatan nilai permitivitas relatif, semakin besar jumlah segmen dan *range* nilai permitivitas maka nilai *bandwidth* akan semakin kecil, 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.

Peningkatan nilai *bandwidth* dan *gain* paling besar terjadi pada saat kondisi substrat tidak homogen 13 segmen dengan *range* nilai permitivitas relatif menurun sebesar 25% dan lebar segmen sebesar 1,8 mm. Peningkatan nilai *bandwidth* yang terjadi sebesar 9,95 MHz (23,275%), nilai *gain* yang terjadi sebesar 0,710 dBi (22%), dan frekuensi tengah dari antenna bergeser ke kanan (bertambah) sebesar 295,2 MHz (11,985%) daripada performansi antenna dengan substrat homogen. Penurunan nilai *bandwidth* dan *gain* terjadi pada saat kondisi substrat tidak homogen 13 segmen dengan *range* nilai permitivitas relatif meningkat sebesar 25% dan lebar segmen sebesar 1,8 mm. Penurunan nilai *bandwidth* yang terjadi sebesar 8,35 MHz (19,532%), nilai *gain* yang terjadi sebesar 0,9375 dBi (29,052%) dan frekuensi tengah dari antenna bergeser ke kiri (berkurang) sebesar 218 MHz (8,851%) daripada performansi antenna dengan substrat homogen.

Berdasarkan hasil simulasi antenna mikrostrip yang telah dibuat, polarisasi antenna dengan substrat tidak homogen memiliki bentuk polarisasi linear. Bentuk polarisasi tersebut sedikit berubah dibandingkan bentuk polarisasi pada antenna dengan substrat homogen. Sedangkan medan magnet dan impedansi pada antenna dengan substrat tidak homogen mengalami peningkatan nilai dibandingkan pada antenna dengan substrat homogen. Gambar 9 menunjukkan nilai *bandwidth* antenna dan Gambar 10 menunjukkan nilai *gain* antenna. Tabel 4. Nilai performansi antenna hasil simulasi berdasarkan 2 simulator. Tabel 4 menunjukkan performansi antenna hasil dari simulasi 2 simulator.



Gambar 9. Hasil *bandwidth* antenna, (a) substrat dengan nilai permitivitas relatif homogen dan (b) substrat 13 segmen dengan peningkatan nilai permitivitas relatif tidak homogen 25% untuk lebar 1,8mm.



Gambar 10. Hasil *gain* antenna, (a) substrat dengan nilai permitivitas relatif homogen dan (b) substrat 13 segmen dengan peningkatan nilai permitivitas relatif tidak homogen 25% untuk lebar 1,8mm.

Tabel 4. Nilai performansi antenna hasil simulasi berdasarkan 2 simulator.

No	Nilai Permitivitas Relatif	Ukuran Segmen	Frekuensi Tengah (GHz)		BW di VSWR <1,5 (MHz)		Gain (dBi)	
			Sim 1	Sim 2	Sim 1	Sim 2	Sim 1	Sim 2
1	Meningkat	0,6 mm	2,3069	2,3494	40,7	37,4	2,408	2,770
2	25% 13	1,2 mm	2,2538	2,2849	38,9	31,2	2,189	2,526
3	Segmen	1,8 mm	2,2295	2,2606	37,6	31,2	2,057	2,522
4	Meningkat	0,6 mm	2,3440	2,3899	41,5	39,6	2,512	2,969
5	18% 13	1,2 mm	2,3045	2,3413	40,3	35,9	2,350	2,759
6	Segmen	1,8 mm	2,2860	2,3261	39,2	36,2	2,259	2,777
7	Meningkat	0,6 mm	2,3308	2,3741	41,2	39,2	2,490	2,914
8	25% 9	1,2 mm	2,2766	2,3073	39,8	34,4	2,287	2,621
9	Segmen	1,8 mm	2,2450	2,2858	38,4	36,2	2,151	2,441
10	Meningkat	0,6 mm	2,3600	2,4039	42,0	39,3	2,562	3,048
11	18% 9	1,2 mm	2,3187	2,3563	40,8	37,9	2,413	2,828
12	Segmen	1,8 mm	2,2944	2,3284	39,8	32,9	2,310	2,567
13	Meningkat	0,6 mm	2,3537	2,3981	41,7	40,8	2,566	3,054
14	25% 5	1,2 mm	2,3064	2,3427	40,6	38,4	2,414	2,845
15	Segmen	1,8 mm	2,2714	2,3003	39,6	34,2	2,276	2,547
16	Meningkat	0,6 mm	3,3787	2,4244	42,2	41,3	2,623	3,133
17	18% 5	1,2 mm	2,3439	2,3879	41,4	39,9	2,520	3,017
18	Segmen	1,8 mm	2,3173	2,3510	40,8	36,8	2,411	2,766
19	Homogen		2,4408	2,4853	43,9	41,6	2,760	3,694
20	Menurun	0,6 mm	2,5107	2,5612	45,5	45,2	2,903	3,542
21	18% 5	1,2 mm	2,5543	2,6027	46,8	45,8	3,014	3,765
22	Segmen	1,8 mm	2,5897	2,6349	47,9	47,4	3,117	3,776
23	Menurun	0,6 mm	2,5382	2,5894	46,1	45,3	2,953	3,605
24	25% 5	1,2 mm	2,6004	2,6505	48,0	46,6	3,110	3,907
25	Segmen	1,8 mm	2,6519	2,6974	49,7	48,8	3,258	3,909
26	Menurun	0,6 mm	2,5331	2,5841	46,1	45,4	2,959	3,647
27	18% 9	1,2 mm	2,5891	2,6351	48,0	47,5	3,111	3,719
28	Segmen	1,8 mm	2,6242	2,6703	49,2	49,4	3,237	3,860
29	Menurun	0,6 mm	2,7494	2,6226	47,0	46,4	3,035	3,802
30	25% 9	1,2 mm	2,6508	2,6957	49,7	49,1	3,252	3,883
31	Segmen	1,8 mm	2,7033	2,7479	51,4	51,9	3,428	4,121
32	Menurun	0,6 mm	2,5529	2,6043	46,8	46,1	3,006	3,627
33	18% 13	1,2 mm	2,6137	2,6588	48,9	48,8	3,200	3,809
34	Segmen	1,8 mm	2,6445	2,6855	49,9	50,5	3,313	4,133
35	Menurun	0,6 mm	2,6013	2,6535	48,0	47,6	3,113	3,680
36	25% 13	1,2 mm	2,6913	2,7370	51,1	51,4	3,386	4,131
37	Segmen	1,8 mm	2,7378	2,7787	52,4	53,0	3,554	4,320

5. Simpulan dan Saran

Pada tugas akhir ini telah dilakukan simulasi pada antenna dengan substrat tidak homogen pada frekuensi 2,4 - 2,5 GHz. 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. Berdasarkan hasil simulasi, didapatkan bahwa modifikasi yang dilakukan pada seluruh bagian di sekitar *patch* dapat meningkatkan performansi antenna. Rentang nilai permitivitas relatif tidak homogen yang baik adalah dengan melakukan penurunan nilai permitivitas relatif sebesar 25%. 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 9,95 MHz (23,275%), *gain* sebesar 0.710 dBi (22%), dan frekuensi tengah dari antenna bergeser ke kanan (bertambah) sebesar 295,2 MHz (11,985%) daripada performansi antenna dengan substrat homogen. Modifikasi substrat yang dilakukan tidak menyebabkan perubahan polarisasi yang signifikan pada antenna dengan nilai permitivitas relatif tidak homogen. Melakukan modifikasi substrat dengan nilai permitivitas relatif tidak homogen dapat meningkatkan nilai medan magnet dan impedansi pada antenna.

Agar mendapatkan performansi dan hasil yang lebih baik, maka ada beberapa hal yang dapat dijadikan saran. Modifikasi antenna yang dilakukan dapat memperhitungkan daerah catuan (*feed line*) agar mendapatkan modifikasi yang lebih rinci sesuai bentuk dari antenna yang dibuat. Modifikasi yang dilakukan dapat menggunakan konfigurasi lain dan di daerah lain dari antenna agar mendapatkan hasil yang lebih baik. Performansi antenna yang diamati dapat ditambah, berupa polarisasi, s-parameter, dan pola radiasi. Dalam menentukan bahan dan dimensi antenna, sebaiknya mempertimbangkan spesifikasi dalam melakukan realisasi antenna. Segmentasi dan *range* nilai permitivitas relatif yang dibuat sebaiknya diperbanyak dan ukuran dari setiap segmen lebih bervariasi agar mendapatkan hasil yang lebih detail. Dalam membuat substrat antenna, sebaiknya mempertimbangkan dimensi substrat agar pada saat memperbesar ukuran segmen, segmen tidak akan melebihi lebar dari substrat yang ada. Dalam melakukan simulasi, sebaiknya menggunakan *hardware* yang memiliki spesifikasi minimal RAM 8 GB dan *processor* $\geq 2,2$ GHz.

Daftar Pustaka:

- [1] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*. 2005.
- [2] R. G. Mishra, J. Jayasinghe, G. Chaturanga, and R. Mishra, *Intelligent Communication, Control and Devices*, vol. 624. 2018.
- [3] D. H. Schaubert, D. M. Pozar, and A. Adrian, "Effect of Microstrip Antenna Substrate Thickness and Permittivity: Comparison of Theories with Experiment," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 37, no. 6, pp. 677–682, 1989.
- [4] E. Y. D. Utami, F. D. Setiaji, and D. Pebrianto, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Persegi Panjang 2,4 GHz Untuk Aplikasi Wireless Fidelity (WI-FI)," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 3, pp. 196–202, 2017.
- [5] T. F. A. Nayna, A. K. M. Baki, and F. Ahmed, "Comparative study of rectangular and circular microstrip patch antennas in X band," *1st Int. Conf. Electr. Eng. Inf. Commun. Technol. ICEEICT 2014*, 2014.
- [6] D. Pasaribu and A. H. Rambe, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Segiempat Pada Frekuensi 2,4 GHz Dengan Metode Pencatuan Inset," *Singuda ENSIKOM*, vol. 7, no. 1, pp. 30–35, 2014.
- [7] M. F. Iskander, *Electromagnetic Fields and Waves*. 2007.
- [8] S. Narayan, B. Sangeetha, and R. M. Jha, *Springer Briefs In Electrical And Computer Frequency Selective Surfaces based High Performance Microstrip Antenna*. 2016.
- [9] Balemurli, "Perancangan Antena Mikrostrip Patch Sirkular Untuk Aplikasi WLAN Menggunakan Simulator Ansoft HFSS v10," *Tugas Akhir USU*, pp. 5–18, 2010.
- [10] C. C. Njoku, W. G. Whittow, and Y. C. Vardaxoglou, "Microwave antennas and heterogeneous substrates using nanomaterial fabrication techniques," *Proc. - 2011 IEEE-APS Top. Conf. Antennas Propag. Wirel. Commun. APWC'11*, pp. 843–846, 2011.
- [11] M. I. Ahmed, M. F. Ahmed, and A. A. Shaalan, "Investigation and Comparison of 2.4 GHz Wearable Antennas on Three Textile Substrates and Its Performance Characteristics," *Open J. Antennas Propag.*, vol. 05, no. 03, pp. 110–120, 2017.
- [12] C. C. Njoku, W. G. Whittow, and J. C. Vardaxoglou, "Simulation methodology for synthesis of antenna substrates with microscale inclusions," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, no. 5, pp. 2194–2202, 2012.