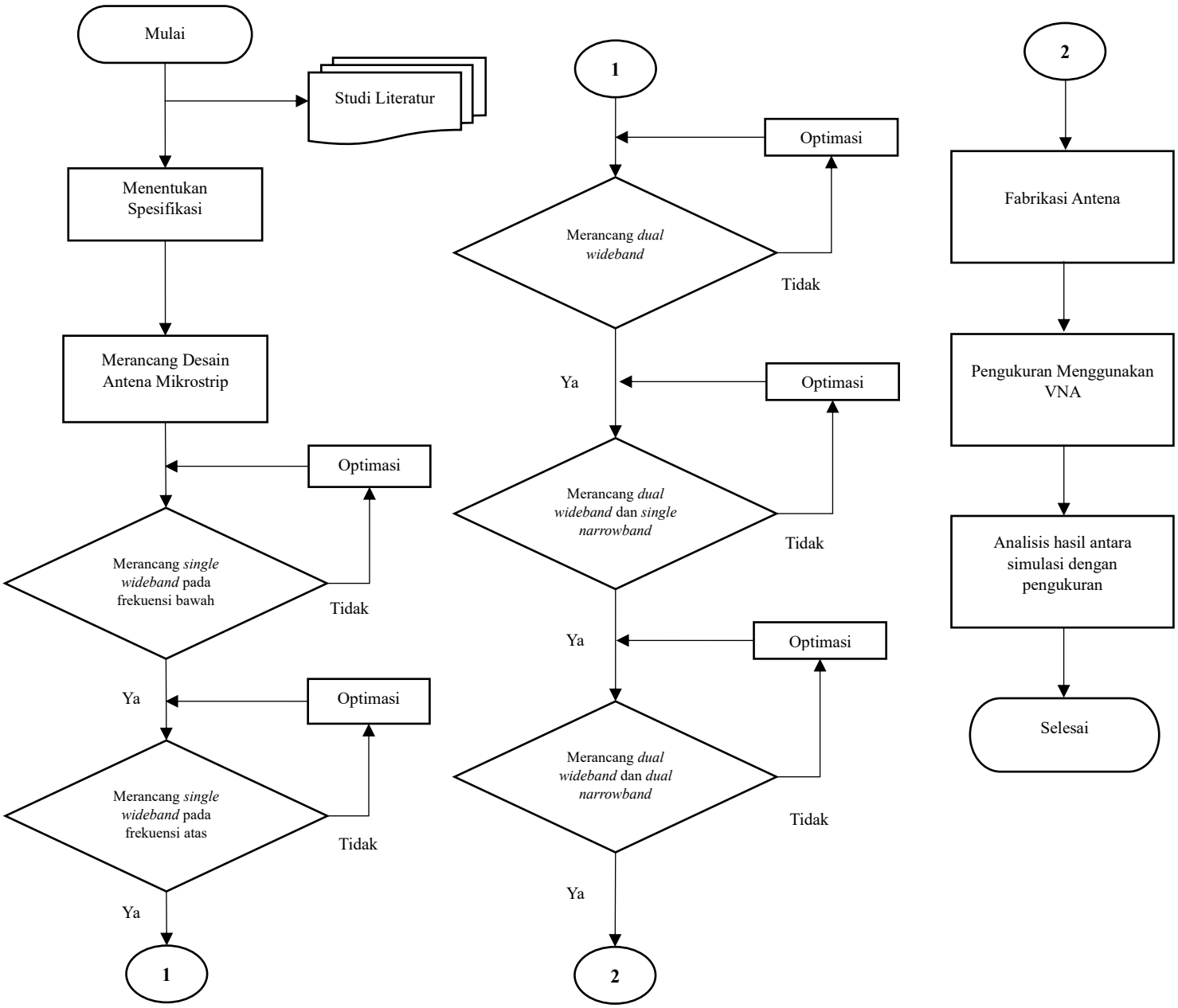
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan proses untuk mencapai hasil yang diharapkan, seperti pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram alur penelitian

3.2 Studi Literatur

Pada tahap ini memberikan ringkasan penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik penelitian. Dalam upaya untuk mendapatkan pemahaman yang lengkap tentang konsep-konsep dasar dan kemajuan terbaru dalam desain antena mikrostrip multifrekuensi, berbagai publikasi ilmiah, baik buku maupun jurnal, dipelajari. Pertama-tama dibahas prinsip dasar antena mikrostrip termasuk struktur, parameter, dan fitur umum. Kemudian dibahas metode desain untuk respons frekuensi ganda, seperti penggunaan *patch, slot*, dan elemen tambahan. Selain itu, bagian ini juga menyajikan tinjauan penelitian sebelumnya tentang pengembangan antena mikrostrip yang dapat beroperasi pada pita frekuensi sempit dan lebar sekaligus. Agar dapat memberikan fondasi yang kuat untuk penelitian ini, dirangkum berbagai topologi, teknik analisis, dan temuan dari studi terkait. Dengan mempelajari dasar-dasar dan perkembangan terbaru di bidang ini, diharapkan dapat memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang desain dan analisis antena mikrostrip sesuai dengan spesifikasi yang ditargetkan.

3.3 Menentukan Spesifikasi

Antena mikrostrip dirancang dengan jenis substrat yang digunakan adalah Rogers RT5880 yang memiliki karakterstik konstanta dielektrik (εr) 2.2, ketebalam substrat (h) 1.575 mm, dan tan δ 0,0009. Perancangan antena mikrostrip menggunakan metode perhitungan manual, kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan aplikasi CST Studio Suite seperti pada Tabel 3.1 .

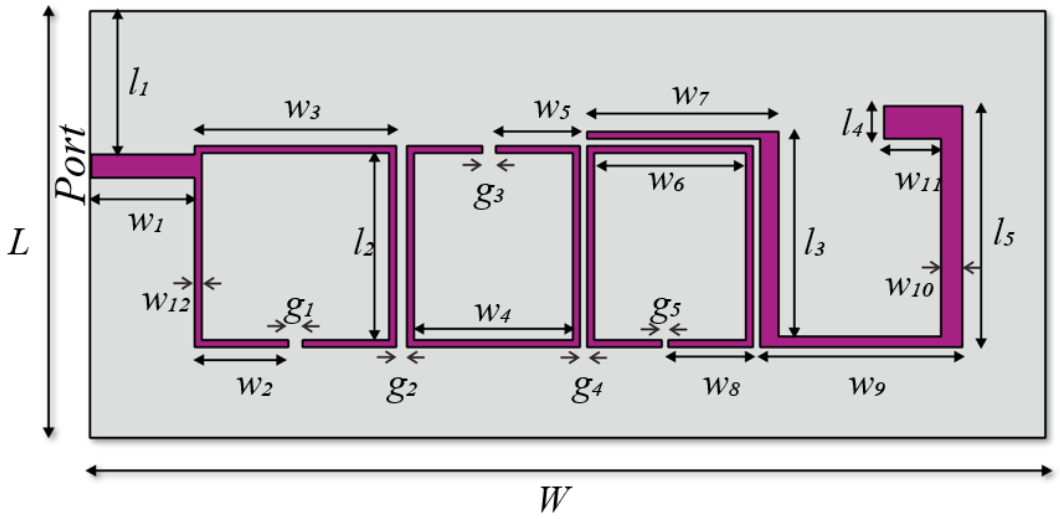
Tabel 3.1 Substrat Duroid RT5880

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Konstanta dielektrik efektif	2.2
2	Ketebalan substrat	1.575 mm
3	Konduktivitas tembaga	5.8 x 10^8 s/m
4	Rugi Tangensial	0.0009

3.4 Merancang Antena *Single Wideband* pada Frekuensi Bawah

Pada tahap ini, dilakukan perancangan antena mikrostrip yang dapat beroperasi dengan satu pita frekuensi namun memiliki *bandwidth* yang lebar pada frekuensi bawah. Hal ini dapat dicapai melalui optimasi dimensi, bentuk, serta susunan dari elemen-elemen respons yang memenuhi spesifikasi pada pita frekuensi yang diinginkan.

Pada gambar 3.2 terlihat bahwa struktur antena ini memiliki pencatu dari sisi samping kiri yang terhubung dengan ring yang menghadap kebawah. Kemudian ring berpasangan dengan empat ring lainnya yang saling berlawanan arah. Pada ring terakhir, memiliki bentuk yang berbeda, pada ring keempat memiliki bentuk yang sedikit memanjang dan juga *patch* dari ring keempat terlihat melintasi sisi atas *patch* ring ketiga (w_7). Pada struktur antena ini terdapat *ground* yang terletak dibelakang substrat yang memiliki diameter *L* 30 mm x *W* 47.58 mm. Adapun dimensi yang lebih jelas terlihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Struktur desain pertama

Berikut merupakan tabel dimensi antena pada struktur desain pertama yang diperoleh melalui pertimbangan dari iterasi menggunakan simulasi *software*. Seperti pada optimasi panjang dari ring keempat yang diinisialisasi oleh l_3 pada gambar 3.2 akan memengaruhi magnitudo S_{11} secara langsung.

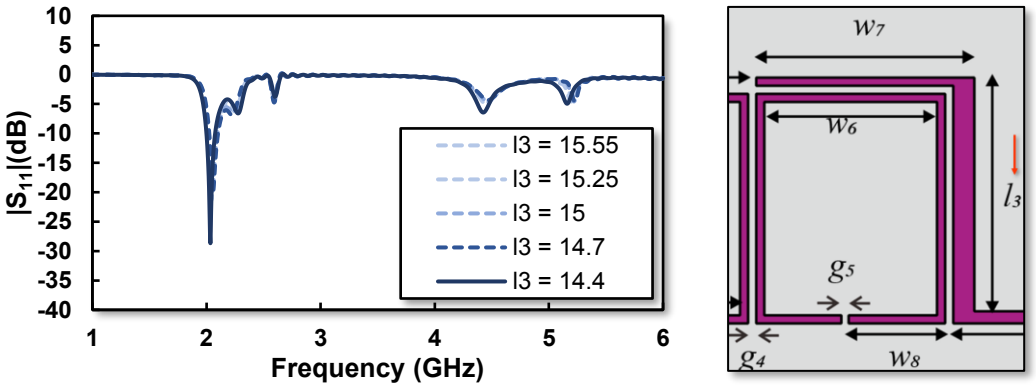
Tabel 3. 2 Dimensi Struktur Desain Pertama

Parameters	Unit/mm
L	*30*
l_1	*10,26*
l_2	*13,15*
l_3	*14.4*
l_4	*2,3*
l_5	*16,95*

Parameters	Unit/mm
W	*67,08*
w_1	*7,26*
w_2	*6.575*
w_3	*14,15*
w_4	*11,15*
w_5	*5,9*
w_6	*10,65*
w_7	*13,45*
w_8	*5,95*
w_9	*14,2*
w_{10}	*1,5*
w_{11}	*4*

Parameters	Unit/mm
g_1	*1*
g_2	*0,75*
g_3	*0,95*
g_4	*0,5*
g_5	*0,45*

Gambar 3.3 memperlihatkan hasil simulasi dari rancangan awal desain pertama. Adapun simulasi ini dilakukan pada rentang frekuensi 2.1 GHz. Sementara itu sumbu-y merupakan nilai koefisien refleksi (S_{11}) yang dihasilkan dalam satuan dB. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa nilai S_{11} yang dihasilkan *single wideband* pada frekuensi bawah. Secara umum, grafik S_{11} pada gambar 3.3 menghasilkan *bandwidth* mulai dari 1.99 GHz sampai dengan 2.3 GHz atau sekitar 300 MHz. Untuk itu struktur pertama ini masih berjalan di frekuensi bawah dan merupakan acuan untuk desain selanjutnya dimana ditargetkan untuk memiliki *bandwidth* pada frekuensi atas. sehingga perlu dilakukan simulasi desain selanjutnya.



Gambar 3.3 Hasil simulasi desain pertama

Hasil grafik S_{11} pada Gambar 3.3 dipengaruhi oleh iterasi perubahan dimensi panjang l_3 pada ring keempat struktur antena. Karena S11 merupakan koefisien refleksi atau bisa disebut juga dengan daya yang terpantul, maka jika nilai magnitudo pada titik frekuensinya semakin kecil, akan semakin baik juga kinerjanya. Namun, dengan syarat nilai magnitudo harus berada dibawah -10 dB.

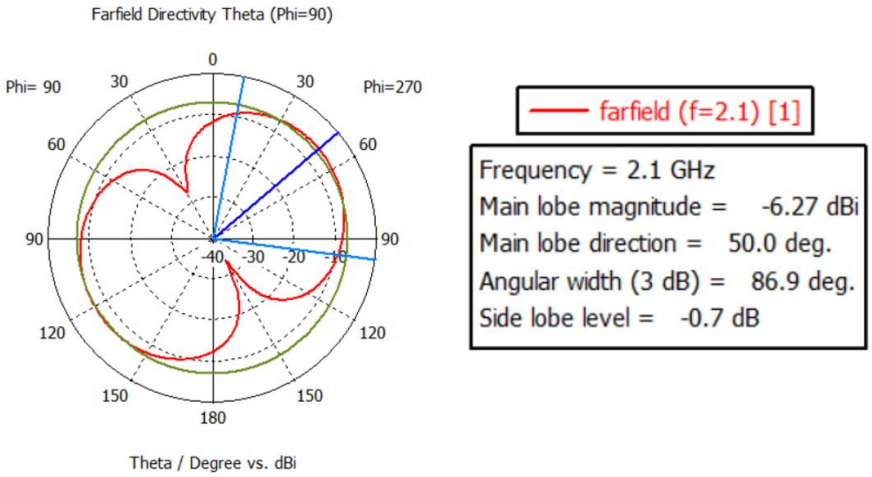
Tabel 3.3 Iterasi l_3 pada Simulasi Desain Pertama

l_3 (mm)	*Bandwidth* (MHz)	S_{11} (dB)	Frekuensi Tengah
	Frekuensi Bawah		
15.55	80	-19.92	2.1 GHz
15.25	70	-19.77	
15	80	-20.1	
14.7	70	-21.2	
14.4	80	-28.7	

Pada tabel 3.3 merupakan hasil iterasi l_3 yang berdasarkan grafik pada gambar 3.3 memiliki dimensi 15.55 mm memiliki *bandwidth* sebesar 80 MHz dan nilai S_{11} sebesar -19.92 pada frekuensi 2.1 GHz. Kemudian dimensi pada l_3 diturunkan sehingga memiliki panjang 15.25 serta memiliki *bandwidth* sebesar 70 MHz nilai S_{11} sebesar -19.77 dB pada frekuensi 2.1 GHz. Pada saat dimensi pada l_3 dicoba untuk diturunkan lagi menjadi 15 mm, ternyata memiliki nilai yang lebih baik yaitu nilai S_{11} sebesar -20.1 namun dengan *bandwidth* yang sama seperti sebelumnya yaitu 80 MHz. Sehingga iterasi dilakukan kembali dengan menurunkan dimensi l_3 menjadi 14.7 mm yang menghasilkan *bandwidth* sebesar 70 MHz dan nilai S_{11} sebesar -21.205 dB pada frekuensi 2.1 GHz yang ternyata menghasilkan

nilai yang lebih baik walaupun tidak ada perubahan pada rentang frekuensi nya. Kemudian terakhir iterasi dilakukan kembali dengan menurunkan dimensi nilai l_3 menjadi 14.4 mm sehingga memiliki *bandwidth* sebesar 80 MHz dan nilai S_{11} -28.7 dB yang mana ini merupakan perubahan nilai S_{11} yang signifikan dibandingkan pada iterasi sebelumnya.

Secara umum, sebenarnya iterasi masih bisa dilakukan dengan cara menurunkan kembali nilai dimensi l_3 yang mana nanti akan mendapatkan nilai S_{11} yang lebih baik lagi. Namun, hal tersebut akan menimbulkan masalah dimana pada iterasi terakhir, pada ring keempat memiliki jarak dengan ring ketiga sebesar 0.5 mm. Dan jika dimensi pada l_3 kembali diturunkan, maka jarak pada kedua ring tersebut juga akan menjadi semakin rapat, dimana hal tersebut akan menyulitkan pada saat proses fabrikasi serta memungkinkan untuk terjadinya kesalahan atau cacat fabrikasi.



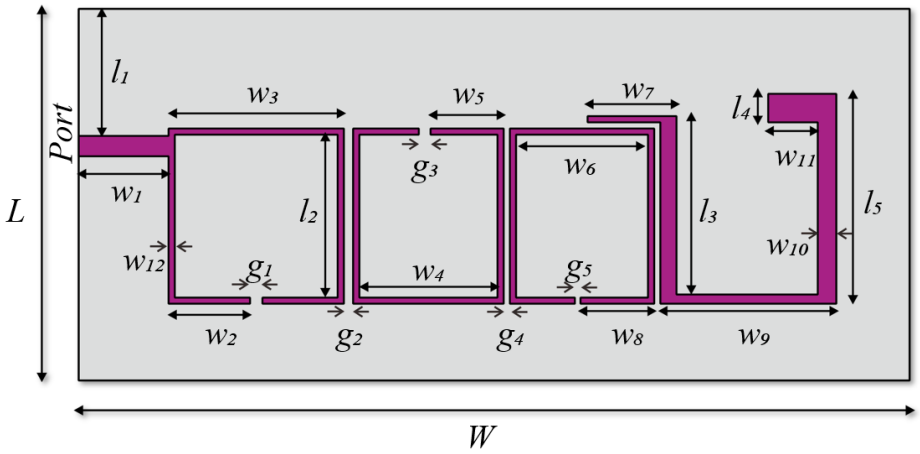
Gambar 3.4 *Gain* simulai desain pertama pada frekuensi 2.1 GHz

Gambar 3.4 merupakan grafik *gain* simulasi desain pertama pada frekuensi 2.1 GHz. Dimana pola radiasi antena pada simulasi desain pertama ini menunjukan bahwa nilai *gain* terbaik (*main lobe magnitude*) adalah -6.27 dBi.

Dengan arah radiasi utama pada 50 derajat. Antena ini juga dapat memancarkan lebar berkas 86.9 derajat pada level -3 dB, serta *level lobe* samping yang bisa dikatakan cukup rendah yaitu sebesar -0.7 dB. Karakteristik ini cocok untuk aplikasi yang membutuhkan cakupan luas dengan daya pancar yang tidak terlalu tinggi.

3.5 Merancang Antena *Single Wideband* pada frekuensi atas

Gambar 3.5 memperlihatkan desain penelitian sebagai struktur kedua. Terlihat bahwa pada struktur kedua ini memiliki bentuk yang hampir sama dengan struktur pertama, hanya saja yang paling membedakan dari struktur ini adalah bentuk pada *patch* dari ring keempat yang melintasi sisi atas *patch* ring ketiga (w_7) yang selanjutnya akan disebut *patch* singgungan memiliki bentuk yang lebih pendek daripada bentuk sebelumnya.



Gambar 3.5 Struktur desain kedua

Panjang *patch* singgungan pada struktur sebelumnya memiliki panjang 0.5 mm dan lebar 12.15 mm sedangkan pada struktur kedua memiliki panjang yang sama yaitu 0.5 mm sedangkan yang membedakan terletak pada dimensi w_7 yaitu 7.175 mm. Adapun dimensi lengkap tertera pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Dimensi Struktur Desain Antena Kedua

Parameters	Unit/mm
L	*30*
l_1	*10,26*
l_2	*13,15*
l_3	*14.4*
l_4	*2,3*
l_5	*16,95*

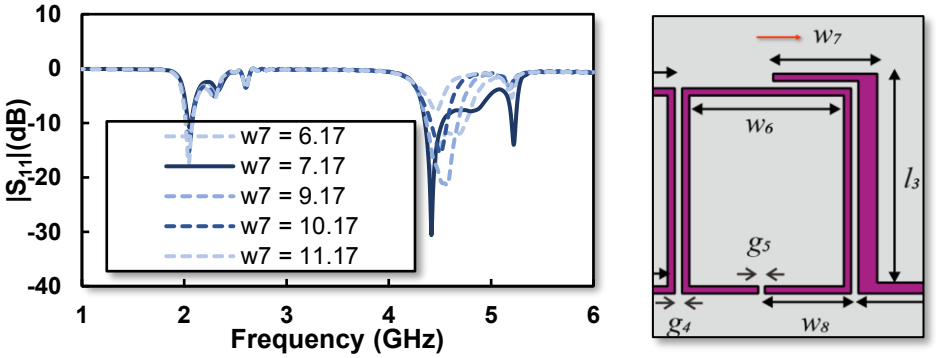
Parameters	Unit/mm
W	*67,08*
w_1	*7,26*
w_2	*6.575*
w_3	*14,15*
w_4	*11,15*
w_5	*5,9*
w_6	*10,65*

Parameters	Unit/mm
g_1	*1*
g_2	*0,75*
g_3	*0,95*
g_4	*0,5*
g_5	*0,45*

w_7	*7,17*
w_8	*5,95*
w_9	*14,2*
w_{10}	*1,5*
w_{11}	*4*

Berdasarkan Tabel 3.4 menampilkan dimensi yang dimodifikasi adalah pada dimensi *patch* ring keempat (w_7). Gambar 3.6 memperlihatkan hasil simulasi dari usulan dari desain kedua. Adapun simulasi ini dilakukan pada rentang frekuensi yang berbeda dari simulasi pertama yaitu pada frekuensi 2.1 GHz, sedangkan pada simulasi kedua ini dilakukan pada rentang frekuensi 4.6 GHz atau bisa dibilang juga pada frekuensi atas. Pada struktur ini menghasilkan sinyal *single wideband* yang memiliki rentang frekuensi yang cukup lebar yaitu pada 4.2 GHz hingga 4.9 GHz.

Secara umum rentang frekuensi yang dihasilkan pada struktur kedua telah memenuhi harapan dari struktur pertama yaitu memiliki *dual wideband* dengan *bandwidth* setidaknya >200 MHz, namun harapan selanjutnya yaitu bagaimana agar struktur memiliki dua pita frekuensi yang dapat bekerja secara bersamaan. Sehingga perlu dilakukan simulasi desain selanjutnya.



Gambar 3.6 Hasil Simulasi desain kedua

Hasil grafik S_{11} pada Gambar 3.6 dipengaruhi oleh iterasi perubahan dimensi panjang w_7 pada ring keempat yang terletak tepat diatas ring ketiga. Perubahan dimensi w_7 tersebut memengaruhi kinerja di frekuensi atas dengan melakukan beberapa iterasi agar mendapatkan hasil yang lebih maksimal yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.5 Iterasi w_7 pada Simulasi Desain Kedua

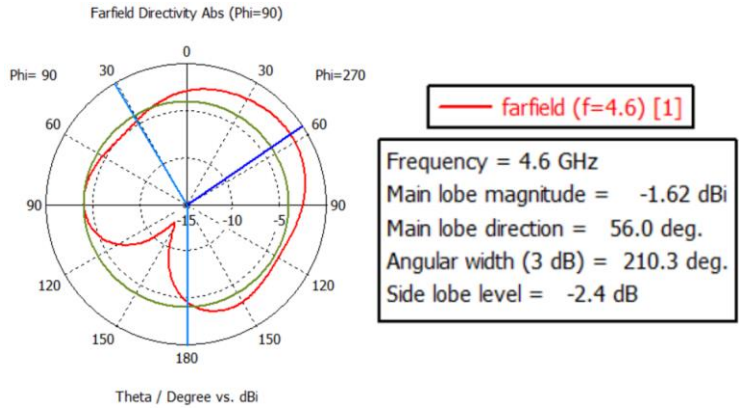
w_7 (mm)	*Bandwidth* (MHz)	S_{11} (dB)	Frekuensi Tengah
	Frekuensi Atas		
11.17	-	-7.83	4.6 GHz
10.17	150	-15.6	
9.17	310	-21.4	
7.17	280	-30.62	
6.17	390	-20.74	

Pada Tabel 3.5 merupakan hasil iterasi w_7 yang berdasarkan grafik pada gambar 3.6 memiliki dimensi 11.17 mm dan nilai S_{11} sebesar -7.83 dB dan pada iterasi iterasi w_7 = 11.17 mm terdapat *bandwidth* seperti yang diharapkan karena nilai magnitudo yang masih lebih dari -10 dB. Dari hasil iterasi pertama ini juga menunjukan bahwa perubahan dimensi yang dilakukan pada w_7 dapat memengaruhi bentuk sinyal S_{11} pada frekuensi atas walaupun hasil yang didapatkan masih belum maksimal. Selanjutnya dengan melakukan iterasi w_7 = 10.17 mm sehingga didapatkan nilai nilai *bandwidth* sebesar 150 MHz dan nilai S_{11} pada frekuensi atas sebesar -15.6 dB. Berdasarkan hasil tersebut, nilai koefisien refleksi atau S_{11} pada w_7 dengan dimensi 10.17 mm mendapatkan nilai yang lebih baik yaitu sekitar -15 dB, dan hasil tersebut masih bisa di optimalkan kembali dengan melakukan iterasi selanjutnya.

Pada iterasi w_7 = 9.17 mm didapatkan nilai *bandwidth* sebesar 310 MHz dan nilai S_{11} sebesar -21.24 dB. Berdasarkan hasil tersebut, dapat diketahui bahwa pada frekuensi atas mendapatkan nilai yang lebih baik, serta *bandwidth* yang didapatkan juga mengalaki kenaikan kualitas. Kemudian pada iterasi w_7 = 7.17 mm yang mana dari pengurangan dimensi tersebut mendapatkan *bandwidth* sebesar 280 MHz dan nilai S_{11} pada sebesar -30.62 dB.

Berdasarkan hasil dari iterasi w_7 = 7.17, dapat diketahui bahwa hasil yang didapatkan dari pengurangan dimensi tersebut membuat nilai pada frekuensi atas menjadi sangat baik yaitu -30.62 dB namun pita frekuensi yang mengalami penurunan kualitas sinyal dari sebelumnya yaitu pada 280 MHz. Pada iterasi w_7 = 6.17 mm yang mana menghasilkan *bandwidth* sebesar 390 MHz dan S_{11} sebesar -20.74 dB. Berdasarkan hasil iterasi w_7 = 6.17 mm, nilai *bandwidth* yang didapatkan menjadi lebih baik, akan tetapi nilai S_{11} nya mengalami penurunan kualitas dari

yang sebelumnya, sehingga iterasi yang dipilih untuk melanjutkan ke tahap desain selanjutnya adalah iterasi 4.



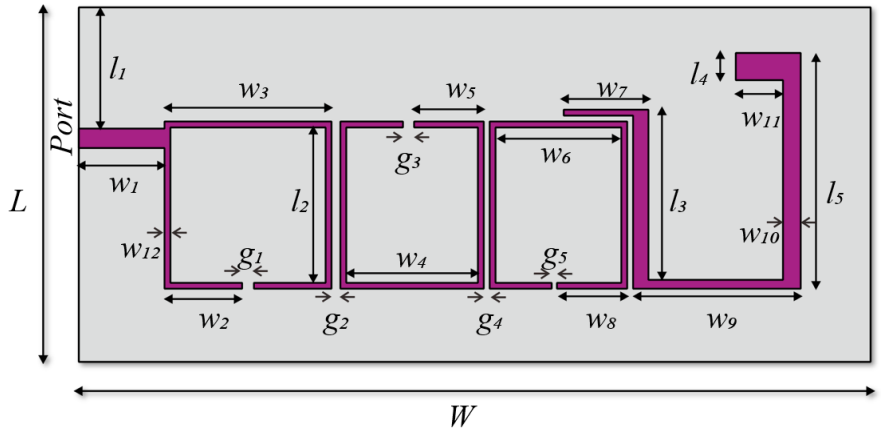
Gambar 3.7 *Gain* simulasi desain kedua pada frekuensi 4.6 GHz

Gambar 3.7 merupakan grafik *gain* simulasi desain kedua pada frekuensi 4.6 GHz. Dimana pola radiasi antena pada simulasi desain kedua ini menunjukan bahwa nilai *gain* terbaik (*main lobe magnitude*) adalah -1.62 dBi, dimana ini menunjukan bahwa *gain* antena yang dipancarkan masih cukup rendah. Sedangkan, arah daya pancar maksimal (*main lobe direction*) terjadi berada pada 56 derajat.

Lebar berkas antena pada level -3 dB adalah 210.3 derajat. Selain *main lobe direction*, terdapat juga *lobe* samping (s*ide lobe*) dengan level daya yang terbilang rendah juga yaitu pada -2.4 dB.

3.6 Merancang Antena *Dual Wideband*

Gambar 3.8 memperlihatkan desain penelitian sebagai desain struktur ketiga. Terlihat bahwa pada struktur ini terdapat tambahan *patch* yang ring keempat paling ujung kanan (l_5). Pada desain struktur sebelumnya, panjang *patch* paling ujung kanan pada ring keempat memiliki diameter dengan panjang 16.95 mm dan lebar (w_{10}) 1.5 mm, sedangkan pada desain ketiga ini panjang diameter paling ujung kanan pada ring keempat memiliki diameter dengan panjang (l_5) 19.95 mm dan lebar yang sama seperti pada desain sebelumnya yaitu 1.5 mm. Dengan demikian, selisih panjang ring keempat pada desain ketiga dan desain sebelumnya adalah 2 mm. Adapun dimensi yang lebih jelas terlihat pada gambar berikut.



Gambar 3.8 Struktur desain ketiga

Gambar 3.9 memperlihatkan hasil simulasi dari desain ketiga. Adapun simulasi dilakukan pada rentang frekuensi 2.1 GHz dan 4.6 GHz. Hasil simulasi memperlihatkan nilai S_{11} yang dihasilkan yaitu *dual wideband* yang memiliki rentang pita frekuensi pada *wideband* pada frekuensi bawah yaitu sebesar 350 MHz akan tetapi sinyal yang turun dibawah -10 dB memiliki panjang pita frekuensi sebesar 80 MHz, sedangkan untuk *wideband* pada frekuensi atas nya memiliki *bandwidth* sebesar 700 MHz. artinya penambahan panjang *patch* pada ring keempat paling ujung kanan memberikan dampak yang cukup signifikan untuk dapat menurunkan sinyal *wideband* pada fekuensi bawah. Adapun dimensi lebih lengkap tertera pada Tabel 3.6

Tabel 3.6 Dimensi Struktur Desain Antena Ketiga

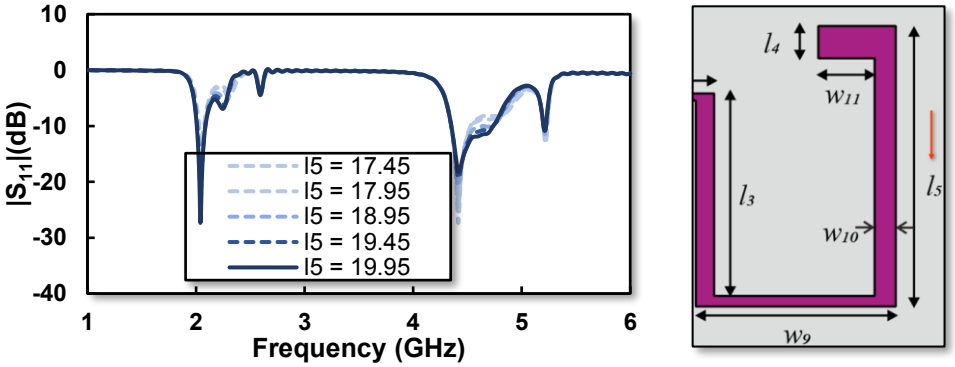
Parameters	Unit/mm
L	*30*
l_1	*10,26*
l_2	*13,15*
l_3	*14.4*
l_4	*2,3*
l_5	*19,95*

Parameters	Unit/mm
W	*67,08*
w_1	*7,26*
w_2	*6.575*
w_3	*14,15*
w_4	*11,15*
w_5	*5,9*
w_6	*10,65*
w_7	*7,17*
w_8	*5,95*

Parameters	Unit/mm
g_1	*1*
g_2	*0,75*
g_3	*0,95*
g_4	*0,5*
g_5	*0,45*

w_9	*14,2*
w_{10}	*1,5*
w_{11}	*4fcx*
w_{12}	*0.5*

Berdasarkan Tabel 3.6, dimensi yang dimodifikasi adalah pada dimensi *patch* ring keempat (l_5).



Gambar 3.9 Hasil simulasi desain ketiga

Secara umum, grafik S_{11} pada Gambar 3.9 menghasilkan sinyal *dual wideband* walau secara spesifikasi pada *wideband* frekuensi bawah yang turun dibawah -10 dB masih belum memenuhi syarat yaitu memiliki lebar pita frekuensi setidaknya > 200 MHz. Namun berdasarkan gambar tersebut, bentuk grafik sinyal pada simulasi ketiga memiliki potensi agar dapat memiliki bentuk grafik sinyal yang lebih baik lagi. Sehingga perlu dilakukan simulasi desain selanjutnya.

Gambar 3.7 Iterasi l_5 pada Simulasi Desain Ketiga

l_5 (mm)	S11 (dB)		*Bandwidth* (MHz)		Frekuensi Tengah
	Frekuensi Bawah	Frekuensi Atas	Frekuensi Bawah	Frekuensi Atas	
17.45	-12.11	-27.2	40	180	2.1 GHZ & 4.6 GHz
17.95	-13.5	-24.58	50	180	
18.95	-18	-20.8	70	290	
19.45	-21.31	-19.36	70	380	
19.95	-27.35	-18.24	80	380	

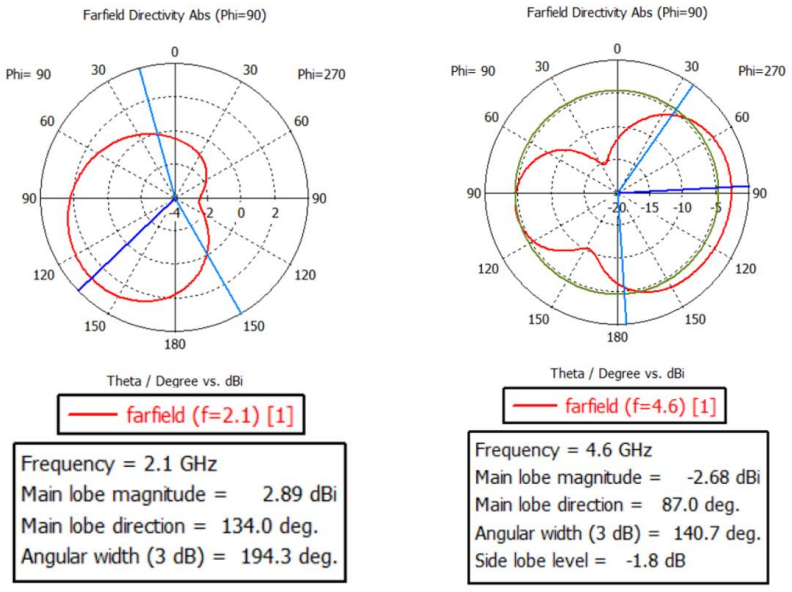
Pada Tabel 3.7 merupakan hasil iterasi l_5 yang berdasarkan grafik pada gambar 3.9 pada iterasi l_5 = 17.45 mm dan memiliki nilai S_{11} pada frekuensi bawah sebesar -12.11 dB dan frekuensi atas sebesar -27.2 dB. Pada iterasi l_5 = 17.45 mm juga memiliki *bandwidth* pada frekuensi bawah sebesar 40 MHz dan 180 MHz, yang mana ini belum juga memenuhi dari ketentuan awal untuk minimum *bandwidth* yaitu diatas 200 MHz. Dari perubahan dimensi l_5 juga membuktikan bahwa perubahan dimensi tersebut dapat mempengaruhi frekuensi bawah yang sebelumnya hanya *wideband* yang terdapat pada frekuensi atas. Selanjutnya pada iterasi l_5 = 17.95 mm.

Dari hasil iterasi tersebut didapatkan nilai koefisien refleksi atau S_{11} pada frekuensi bawah yaitu sebesar -13.5 dB dan frekuensi atas sebesar -24.58 dB. Selain itu, pada frekuensi bawah mendapatkan nilai *bandwidth* sebesar 50 MHz dan pada frekuensi atas sebesar 180 MHz. Berdasarkan hasil iterasi tersebut, tidak ada perubahan yang signifikan dan pada frekuensi atas tidak ada perubahan *bandwidth*, namun nilai S_{11} berkurang. Selajutnya pada iterasi l_5 = 18.95 mm, dimana hasil dari perubahan dimensi tersebut mendapatkan nilai koefisien refleksi (S_{11}) pada frekuensi bawah sebesar -18 dB dan pada frekuensi atas sebesar -20.8 dB. Selain itu, pada frekuensi bawah memiliki *bandwidth* sebesar 70 MHz dan frekuensi atas sebesar 290 MHz.

Bedasarkan iterasi l_5 = 18.95 mm, hasil yang didapatkan cukup baik karena nilai S_{11} pada ferkuensi bawah memiliki mendapatkan kualitas yang lebih baik, namun pada *bandwith* frekuensi atas terjadi penurunan kualitas, namun nilai *bandwidth* nya menjadi lebih baik. Selanjutnya pada iterasi l_5 = 19.45 mm. Dari hasil tersebut didapatkan nilai koefisien refleksi (S_{11}) pada frekuensi bawah sebesar -21.31 dB dan *bandwidth* sebesar 70 MHz, sedangkan pada frekuensi atas mendapatkan nilai S_{11} sebesar -19.36 dB dan *bandwidth* sebesar 380 MHz. Bedasarkan iterasi tersebut, hanya sedikit terjadi perubahan nilai, namun *bandwidth* pada frekuensi atas mengalami kenaikan kualitas sinyal.

Pada iterasi l_5 =19.95 mm dimana dari hasil iterasi tersebut pada ferkuensi bawah mendapatkan nilai koefisien refleksi (S_{11}) sebesar -27.35 dB dan *bandwidth* sebesar 80 MHz, sedangkan pada frekuensi atas mendapatkan nilai S_{11} sebesar -18.24 dB dan *bandwidth* sebesar 380 MHz. Berdasarkan hasil iterasi tersebut,

secara keseluruhan nilai yang didapatkan mengalami perubahan kualitas kearah yang lebih baik, walau pada frekuensi bawa masih belum memenuhi syarat, namun berdasarkan grafik tersebut, sinyal yang dihasilkan oleh antena memiliki potensi untuk mendapatkan *wideband* yang diinginkan.



(a) (b)

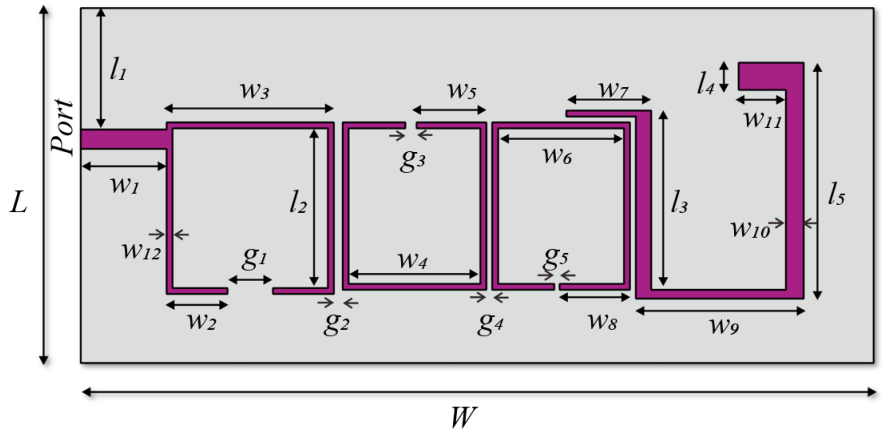
Gambar 3.10 *Gain* simulasi desain ketiga pada frekuensi 2.1 GHz dan 4.6 GHz

Gambar 3.10 memperlihatkan 2 grafik pola radiasi antena pada frekuensi 2.1 GHz dan 4.6 GHz. Pada frekuensi 2.1 GHz antena memiliki *gain* maksimal sebesar 2.98 dBi dengan arah radiasi utama yaitu pada 134 derajat serta lebar berkas antena yang terbilang cukup lebar yaitu pada 194.3 derajat pada level -3 dB. Sedangkan pada frekuensi 4.6 GHz antena memiliki *gain* maksimal yang lebih rendah yaitu pada -2.68 dBi, dengan arah radiasi utama yaitu pada 87 derajat serta lebar berkas yang cukup lebar yaitu pada 140.7 derajat pada level -3 dB. Selain itu, *side lobe* yang relatif rendah yaitu hanya -18 dB, yang artinya menunjukan efisiensi antena yang baik.

3.7 Merancang Antena *Dual Wideband* dan *Single Narrowband*

Gambar 3.11 memperlihatkan desain penelitian sebagai struktur keempat. Terlihat bahwa pada struktur ini terdapat penambahan panjang *patch* pada ring

kesatu dan ring keempat. Panjang ring kesatu pada struktur sebelumnya memiliki panjang *patch* yang bersinggungan dengan *patch* kedua yaitu 13.15 mm. Sedangkan pada struktur ketiga ini memiliki panjang *patch* yang bersinggungan dengan *patch* kedua yaitu (l_2) 13.5 mm sehingga panjang *patch* ring pertama struktur ketiga dan struktur sebelumnya ini memiliki selisih sebesar 0.35 mm. Sedangkan untuk gap (g_1) pada struktur keempat ini memiliki jarak sebesar 3.85 mm, maka jika dibandingkan dengan struktur sebelumnya ini memiliki selisih sebesar 2.85 mm.



Gambar 3.11 Struktur desain keempat

Tabel 3.7 menampilkan dimensi yang dimodifikasi adalah pada dimensi *patch* ring kesatu (l_2 dan g_1) dan *patch* ring keempat (l_3).

Tabel 3.7 Dimensi Struktur Desain Antena Keempat

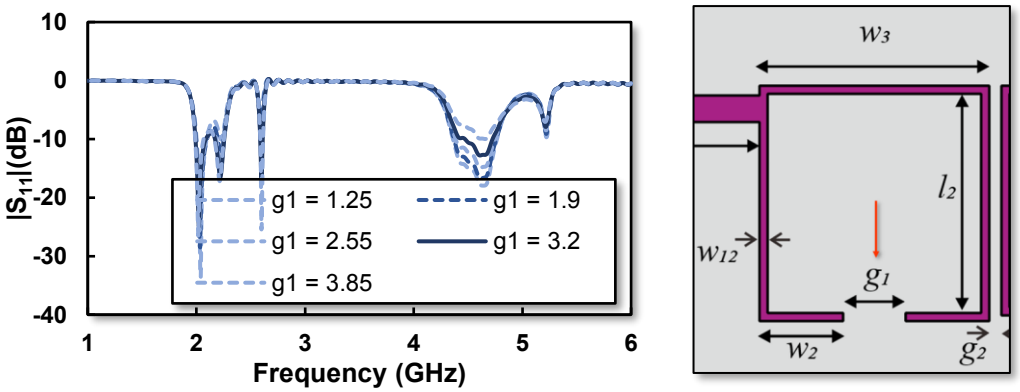
Parameters	Unit/mm
L	30
l_1	10,26
l_2	13,5
l_3	15,15
l_4	2,3
l_5	19,95

Parameters	Unit/mm
W	67,08
w_1	7,26
w_2	6.575
w_3	14,15
w_4	11,15
w_5	5,9
w_6	10,65
w_7	7,17
w_8	5,95
w_9	14,2

Parameters	Unit/mm
g_1	3.2
g_2	0,75
g_3	0,95
g_4	0,5
g_5	0,45

w_{10}	*1,5*
w_{11}	*4*

Gambar 3.12 memperlihatkan hasil simulasi dari desain keempat. Adapun simulasi dilakukan pada rentang frekuensi 2.1 Hz, 2.6 Hz, dan 4.6 Hz. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa nilai S11 yang dihasilkan yaitu *dual wideband* dan *single narrowband*, Dimana pada *wideband* frekuensi bawah ini memiliki lebar pita frekuensi sebesar 400 MHz sedangkan *wideband* pada frekuensi atas memiliki lebar pita frekuensi sebesar 700 MHz.



Gambar 3.12 Hasil simulasi desain keempat

Pada simulasi desain keempat ini telah memenuhi harapan untuk membuat sinyal *dual wideband* dan *single narrowband*, akan tetapi pada struktur akhir diharapkan agar antena dapat memiliki *dual wideband* dan *dual narrowband* yang dapat bekerja secara simultan. Sehingga diperlukan simulasi desain selanjutnya.

Tabel 3.8 Iterasi g_1 pada Simulasi Desain Keempat

g_1 (mm)	Frekuensi Tengah					
	2.1 GHz		2.6 GHz		4.6 GHz	
	S_{11} (dB)	*Bandwidth* (MHz)	S_{11} (dB)	*Bandwidth* (MHz)	S_{11} (dB)	*Bandwidth* (MHz)
1.25	-33.35	90	-5.43	-	-17.94	400
1.9	-28.5	250	-7.87	-	-16.73	380
2.55	-25.66	260	-11.21	20	-14.9	360
3.2	-23.74	260	-16.88	30	-12.78	310
3.85	-26.52	270	-25.29	30	-9.9	-

Pada Tabel 3.8 merupakan hasil iterasi g_1 yang mana ini merupakan *gap* yang terletak pada ring pertama. Berdasarkan grafik pada gambar 3.12 pada iterasi g_1 = 1.25 mm yang pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 90 MHz dan S_{11} sebesar -33.35 dB, pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan nilai S_{11} sebesar -5.43 dB namun *bandwidth* tidak dihitung karena nilai S_{11} lebih dari -10 dB, sedangkan pada frekuensi 4.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 400 MHz dan S_{11} sebesar -17.94 dB. Berdasarkan simulasi desain keempat dapat dibuktikan bahwa l_2, l_3, dan g_1 dapat mempengaruhi kinerja sinyal hingga menghasilkan tambahan 1 *single band*, namun hasil yang didapatkan masih belum optimal sehingga dilakukan iterasi selajutnya.

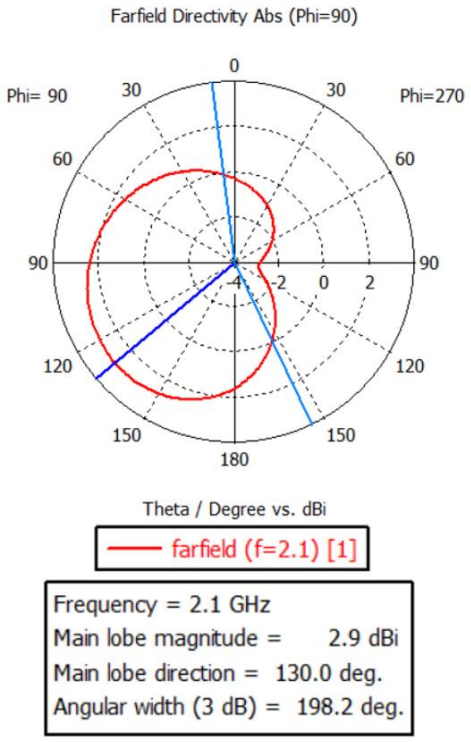
Selanjutnya pada iterasi g_1 = 1.9 mm yang pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 250 MHz dan S11 sebesar -28.5 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz *bandwidth* tidak dihitung karena nilai S_{11} sebesar -7.87 dB. Pada frekuensi 4.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 380 MHz. Berdasarkan iterasi g_1 = 1.9 mm membuat *bandwidth* pada frekuensi 2.1 menjadi sedikit lebih lebar, namun terjadi sedikit penurunan kualitas pada S_{11}, begitupun pada frekuensi 4.6 GHz yang mengalami sedikit penurunan kualitas sinyal. Pada iterasi g_1 = 2.55 mm yang pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 260 MHz dan S_{11} sebesar -25.66 dB. Pada frekuensi 2.6 menghasilkan *bandwidth* sebesar 20 MHz dan S_{11} sebesar -11.21 dB. Dan pada frekuensi 4.6 menghasilkan *bandwidth* sebesar 360 MHz dan S_{11} sebesar -14.9 dB.

Berdasarkan iterasi g_1 = 2.55 mm, setiap nilai *bandwidth* yang didapatkan tidak memiliki banyak perubahan, namun nilai S_{11} pada frekuensi 2.6 GHz kurang dari -10 GHz sehingga *bandwidth* dapat dihitung. Pada iterasi g_1 = 3.2 mm yang pada fekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 260 MHz dan S_{11} sebesar -23.74 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -16.88 dB. Dan pada fekuensi 4.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 310 MHz dan S_{11} sebesar -12.78 dB.

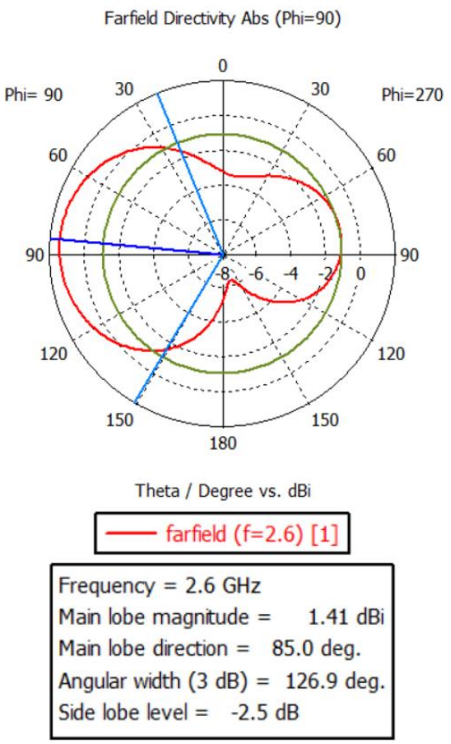
Berdasarkan iterasi g_1 = 3.2 mm, nilai S_{11} pada frekuensi 2.1 dan 4.6 terus mengalami penurunan kualitas sinyal, namun pada frekuensi 2.6 GHz nilai S_{11} yang didapatkan menjadi semakin lebih baik. Selanjutnya pada iterasi g_1 = 3.85 mm yang pada frekuensi 2.1 menghasilkan *bandwidth* sebesar 270 MHz dan S_{11} sebesar -

26.52 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -25.29 dB. Dan pada frekuensi 4.6 GHz *bandwidth* tidak dihitung karena nilai S_{11} lebih dari -10 dB yaitu sebesar -9.9 dB.

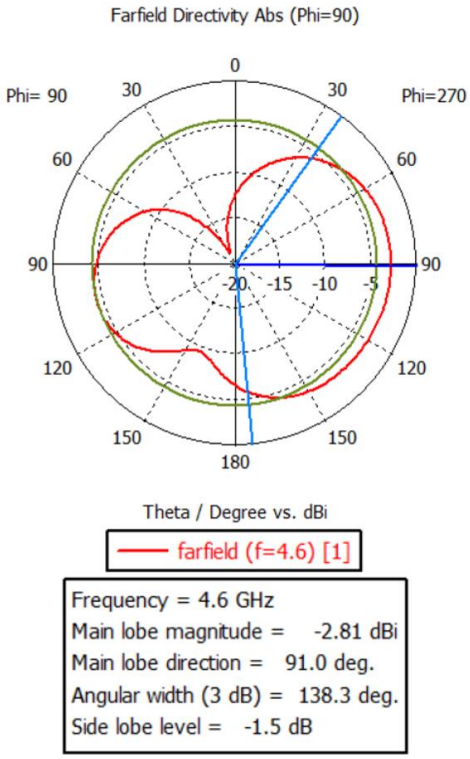
Berdasarkan iterasi g_1 = 3.85 mm, nilai S_{11} pada frekuensi 2.1 GHz dan 2.6 GHz menjadi semakin lebih baik, namun pada fekuensi 4.6 menghasilkan nilai yang sangat buruk dimana nilai S_{11} yang keluar dari target yaitu kurang dari -10 dB. Sehingga iterasi keempatlah yang menghasilkan nilai paling baik.



(a)



(b)



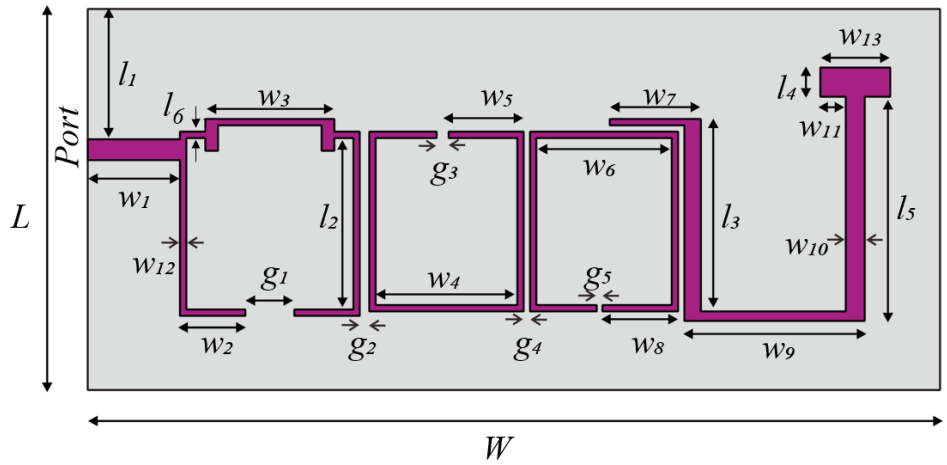
(c)

Gambar 3.13 *Gain* simulasi desain kempat pada frekuensi (a) 2.1 GHz, (b) 2.6 GHz, dan (c) 4.6 GHz

Gambar 3.13 memperlihatkan *gain* hasil simulasi keempat pada frekuensi 2.1 GHz, 2.6 GHz, dan 4.6 GHz. Pada frekuensi 2.1 GHz, antena memiliki *gain* maksimal sebesar 2.9 dBi, namun dengan arah radiasi utama yang cukup lebar yaitu pada 130 derajat. Lebar berkas antena yang mencapai 197.9 derajat pada level -3 dB. Ketika frekuensi naik menjadi 2.6 GHz, karakteristik antena berubah. *Gain* maksimal pada antena menurun menjadi 1.41 dBi, namun arah *main lobe direction* juga jadi sedikit menyempit yaitu pada 85 derajat pada level -3 dB, serta level *side lobe* yang tetap rendah yaitu pada -2.5 dB. Selanjutnya pada frekuensi 4.6 GHz, antena memiliki *gain* maksimal yang kembali menurun menjadi -2.81 dBi, namun arah radiasi utamanya bergeser menjadi 91 derajat, lebar berkas antena yang menjadi lebar yaitu pada 138.1 derajat, serta level *side lobe* yang juga tetap rendah yaitu pada -1.5 dB.

3.8 Merancang Antena *Dual Wideband* dan *Dual Narrowband*

Gambar 3.14 memperlihatkan desain penelitian pada struktur kelima. Terlihat bahwa pada struktur ini terdapat lebih banyak modifikasi dari desain sebelumnya. Dimulai dari *patch* pada ring pertama yaitu ditambahkan dua buah stub dengan memiliki diameter yang sama yaitu panjang 2.5 mm dan lebar 1 mm, serta jalur transmisi yang seharus terletak diantara kedua stub dengan panjang (w_3) 8.15 mm yang dipindahkan ke sisi atas stub. Pada ring kedua tidak terdapat modifikasi,



Gambar 3.14 Struktur desain kelima

Gambar 3.11 memperlihatkan hasil simulasi terakhir dari desain kelima. Adapun simulasi dilakukan pada rentang frekuensi 2.1 Hz, 2.6 Hz, 4.5 Hz, dan 5.2 Hz. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa nilai S11 yang dihasilkan yaitu *dual wideband* dan *dual narrowband,* Dimana pada *wideband* frekuensi bawah memiliki panjang pita frekuensi sebesar 300 MHz, sedangkan untuk *wideband* pada fekuensi atas memiliki panjang pita frekuensi sebesar 540 MHz. serta penambah dual narrowband yang terletak pada frekuensi 2.6 Hz dan 5.2 Hz yang jika ditotal pada desain struktur ini memiliki empat buah pita frekuensi. Secara umum grafik S11 pada gambar 3.11 menghasilkan dual wideband dan dual narrowband yang telah memenuhi spesifikasi yang diusulkan.

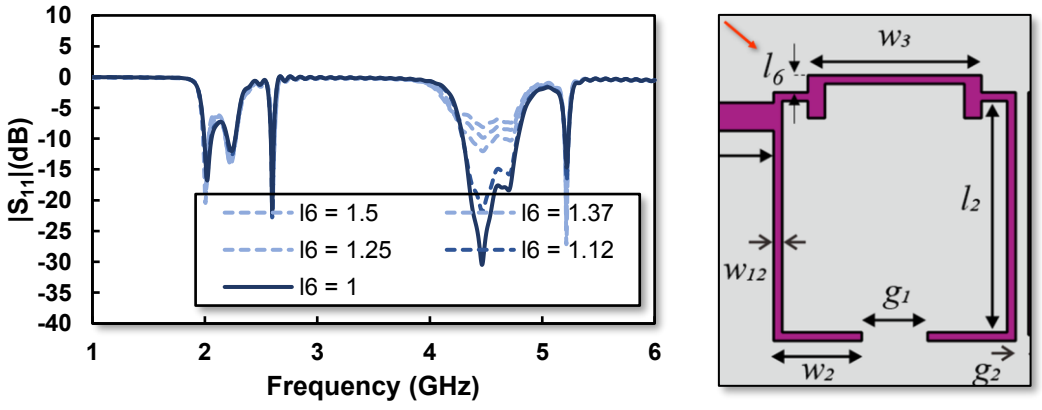
Tabel 3. 9 Dimensi Struktur Desain Antena Kelima

Parameters	Unit/mm
L	30
l_1	10,26
l_2	13,5
l_3	15,15
l_4	2,3
l_5	17.65

Parameters	Unit/mm
W	67,08
w_1	7,26
w_2	6.575
w_3	8.15
w_4	11,15
w_5	5,9
w_6	10,65
w_7	7,17
w_8	5,95
w_9	14,2
w_{10}	1,5
w_{11}	2
w_{12}	5,5
w_{13}	1

Parameters	Unit/mm
g_1	3.2
g_2	0,75
g_3	0,95
g_4	0,5
g_5	0,45

Berdasarkan Tabel 3.9, dimensi yang dimodifikasi adalah pada dimensi *patch* ring kesatu (w_3) dan *patch* ring keempat (l_5 dan w_{13}).



Gambar 3.15 Hasil simulasi desain kelima

Pada simulasi desain keempat ini telah memenuhi harapan untuk membuat sinyal *dual wideband* dan *dual narrowband*.

Tabel 3.10 Iterasi l_6 pada Simulasi Desain Kelima

l_6 (mm)	Frekuensi Tengah							
	2.1 GHz		2.6 GHz		4.6 GHz		5.2 GHz	
	S_{11} (dB)	BW (MHz)	S_{11} (dB)	BW (MHz)	S_{11} (dB)	BW (MHz)	S_{11} (dB)	BW (MHz)
1.5	-20.37	290	-13.68	30	-8.14	-	-18.69	30
1.37	-18.74	290	-15.64	30	-9.86	-	-23.38	40
1.25	-18.08	290	-19.21	20	-12.02	370	-26.87	40
1.12	-16.76	280	-22.67	30	-21.8	480	-16.8	30
1	-16.78	270	-22.17	30	-30.59	490	-14.66	30

Pada Tabel 3.10 merupakan hasil iterasi l_6 yang mana ini merupakan tambahan dimensi lakukan pada ring pertama. Berdasarkan grafik pada gambar 3.15, Pada iterasi l_6 = 1.5 mm yang pada frekuensi 2.1 GHz memiliki *bandwidth* sebesar 290 MHz dan S_{11} sebesar -20.37 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -13.68 dB. Pada frekuensi 4.6 GHz *bandwidth* tidak dihitung karena nilai S_{11} lebih dari -10 dB yaitu sebesar -8.14 dB. Pada frekuensi 5.2 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -18.69.

Berdasarkan iterasi l_6 = 1.5 mm, dapat diketahui bahwa dengan menambahkan lekukan di patch atas pada ring pertama dan modifikasi pada ring keempat, dapat menghasilkan *singleband* pada frekuensi 5.2 GHz, namun karena nilainya yang masih belum optimal maka dilakukan iterasi berikutnya. Selanjutnya pada iterasi l_6 =1.37 mm yang pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 290 MHz dan S_{11} sebesar -18.74 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -15.64 dB. Pada frekuensi 4.6 GHz *bandwidth* tidak dihitung karena nilai S_{11} lebih dari -10 dB yaitu sebesar -9.86 dB. Pada frekuensi 5.2 menghasilkan *bandwidth* sebesar 40 MHz dan S_{11} sebesar -23.38 dB.

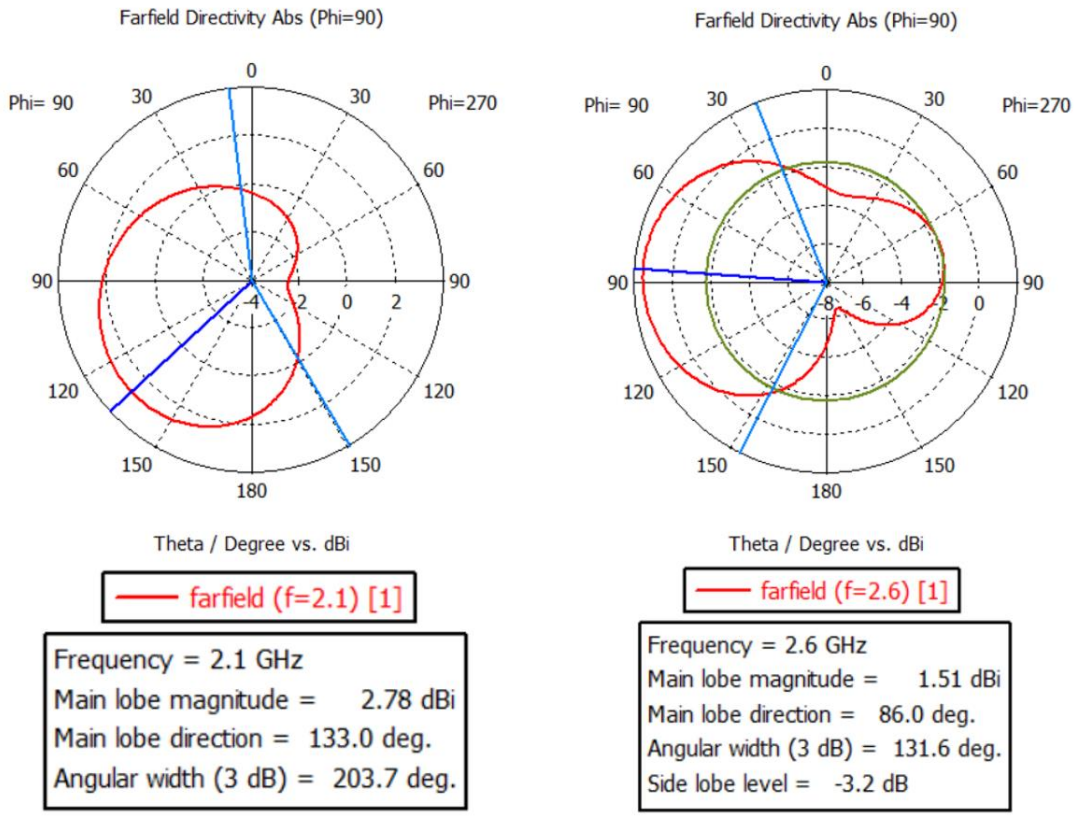
Berdasarkan iterasi l_6 = 1.37 mm, nilai *bandwidth* yang didapatkan tidak mengalami perubahan yang signifikan, terdapat perubahan nilai koefisien refleksi atau S_{11} kearah yang lebih baik. Selanjutnya pada i iterasi l_6 =1.25 mm yang pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 290 MHz dan S_{11} sebesar -18.08 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 20 MHz dan S_{11} sebesar -19.21 dB. Pada frekuensi 4.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar

370 MHz dan S_{11} sebesar -12.02 dB. Pada frekuensi 5.2 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 40 MHz dan S_{11} sebesar -26.87 dB.

Berdasarkan iterasi l_6 = 1.25 mm, walaupun terjadi sedikit pengurangan nilai *bandwidth* pada ferkuensi 2.1 GHz dan 4.6 GHz, namun nilai S_{11} pada setiap frekuensi menjadi lebih baik, karena nilai yang didapatkan sudah memasuki standar yang diinginkan yaitu kurang dari -10 dB walau nilainya masih bisa lebih dioptimalkan. Selanjutnya pada iterasi l_6 =1.12 mm yang pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 280 MHz dan S_{11} sebesar -16.76 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -22.67 dB. Pada frekuensi 4.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 480 MHz dan S_{11} sebesar -21.8 dB. Pada frekuensi 5.2 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -16.8 dB.

Berdasarkan iterasi l_6 = 1.12 mm, tidak terjadi perubahan yang signifikan pada setiap frekuensi, namun hasil dari perubahan dimensi tersebut membuat koefisien refleksi (S_{11}) pada frekuensi 2.6 GHz dan 4.6 GHz mendapatkan kualitas sinyal yang lebih baik. Sedangkan pada frekuensi 2.1 GHz dan 5.2 GHz kualitas sinyalnya menurun. Selanjutnya pada iterasi l_6 = 1 mm yang pada frekuensi 2.1 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 270 MHz dan S_{11} sebesar -16.78 dB. Pada frekuensi 2.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -22.17 dB. Pada frekuensi 4.6 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 490 MHz dan S_{11} sebesar -30.59 dB. Pada frekuensi 5.2 GHz menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz dan S_{11} sebesar -14.66 dB.

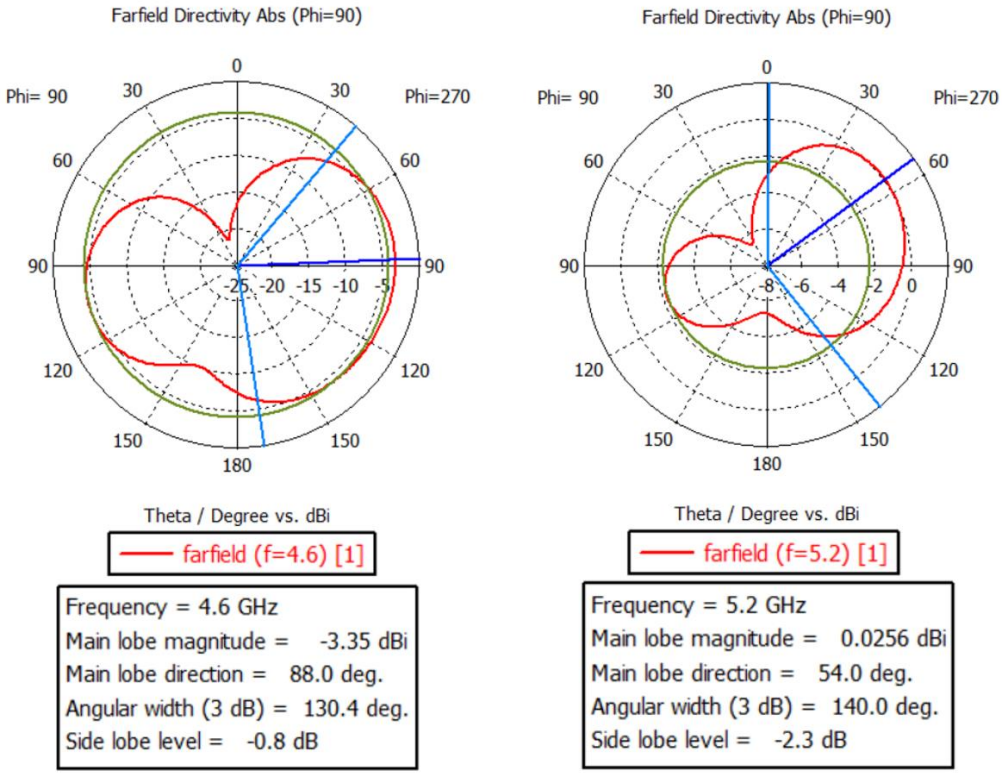
Berdasarkan iterasi l_6 = 1 mm, terdapat perubahan kualitas sinyal S_{11} yang signifikan pada frekuensi 4.6 GHz yaitu -30.59 dB, sehingga dimensi l_6 yang paling ideal adalah 1 mm karena dimensi tersebut juga akan memudahkan pada saat proses fabrikasi.



(a) (b)

Gambar 3.16 *Gain* simulasi desain kelima pada frekuensi 2.1 GHz dan 2.6 GHz

Gambar 3.16 memperlihatkan *gain* hasil simulasi keempat pada frekuensi 2.1 GHz, 2.6 GHz, dan 4.6 GHz, dan 5.2 GHz. Pada frekuensi 2.1 GHz, antena memiliki *gain* maksimal sebesar 2.78 dBi dengan arah radiasi utama yaitu pada 133 derajat, dan lebar berkas antena yang cukup lebar yaitu pada 203.7 derajat pada level -3 dB. Ketika frekuensi naik menjadi 2.6 GHz, *gain* maksimal antena menurun menjadi 1.51 dBi, namun untuk arah radiasi utamanya bergeser ke 86 derajat, serta lebar berkas antena yang juga menyempit menjadi 131.6 derajat pada level -3 dB.



(c) (d)

Gambar 3.17 *Gain* simulasi desain kelima pada frekuensi 4.6 GHz dan 5.1 GHz

Gambar 3.17 memperlihatkan hasil *gain* pada frekuensi 4.6 GHz, *gain* maksimal pada antena Kembali menurun menjadi -3.35 dBi, dengan arah *main lobe direction* yang bergeser ke 88 derajat, serta lebar berkas antena yang menjadi semakin sempit yaitu menjadi 130.4 derajat paa level -3 dB. Terakhir, ketika pada frekuensi 5.2 GHz, *gain* maksimal pada antena menjadi sangat rendah yaitu hanya 0.0256 dBi, namun untuk arah *main lobe direction* bergeser lagi ke 54 derajat, serta lebar berkas antena yang menjadi semakin lebar yaitu mencapai 140 derajat pada level -3 dB.

Secara umum karakteristik antena pada simulasi desain kelima ini mengalami pergeseran seiring dengan kenaikan frekuensi, dengan *gain* yang semakin menurun namun lebar berkas yang menjadi semakin sempit. Hal ini menunjukan efisiensi antena yang tetap terjaga dengan level *side lobe* yang rendah. Karakteristik pada simulasi desain keempat ini sama dengan karakteristik pada simulasi sebelumnya yaitu antena ini cocok untuk aplikasi yang membutuhkan cakupan luas, meskipun tidak memerlukan *gain* yang sangat tinggi.

3.9 Fabrikasi Antena

Setelah perancangan antena mikrostrip selesai, tahap berikutnya adalah fabrikasi antena. Pada tahap ini, desain yang telah disimulasikan dan dioptimasi akan diwujudkan menjadi bentuk fisik yang sebenarnya. Pemilihan substrat yang tepat, pemasangan elemen, dan pembuatan akses pencatuan yang tepat akan menjadi bagian dari proses fabrikasi. Agar karakteristik antena yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi desain, kualitas serta ketelitian dalam fabrikasi juga sangat penting.

3.10 Pengukuran menggunakan VNA

Selanjutnya, antena yang telah difabrikasi selanjutnya akan diukur menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA). VNA merupakan peralatan pengukuran yang handal untuk mengevaluasi parameter seperti koefisien refleksi (S_{11}), *bandwidth*, *gain*, serta pola radiasi. Proses pengukuran dilakukan secara sistematis dan agar memperoleh hasil pengukuran yang dapat dipercaya, kalibrasi pada VNA juga merupakan langkah yang sangat penting.

3.11 Analisis hasil simulasi dengan pengukuran

Pada tahap akhir, hasil simulasi dan hasil pengukuran akan harus dibandingkan. Pada tahap analisis ini, akan ditemukan perbedaan yang muncul antara simulasi dan pengukuran. Perbedaan tersebut disebabkan oleh variabel seperti toleransi fabrikasi, variasi bahan, hingga ketidaksempurnaan *set-up* pengukuran juga dapat menyebabkan perbedaan tersebut. Analisis secara menyeluruh akan menghasilkan pemahaman yang lebih baik mengenai titik perbaikan untuk penelitian selanjutnya.