

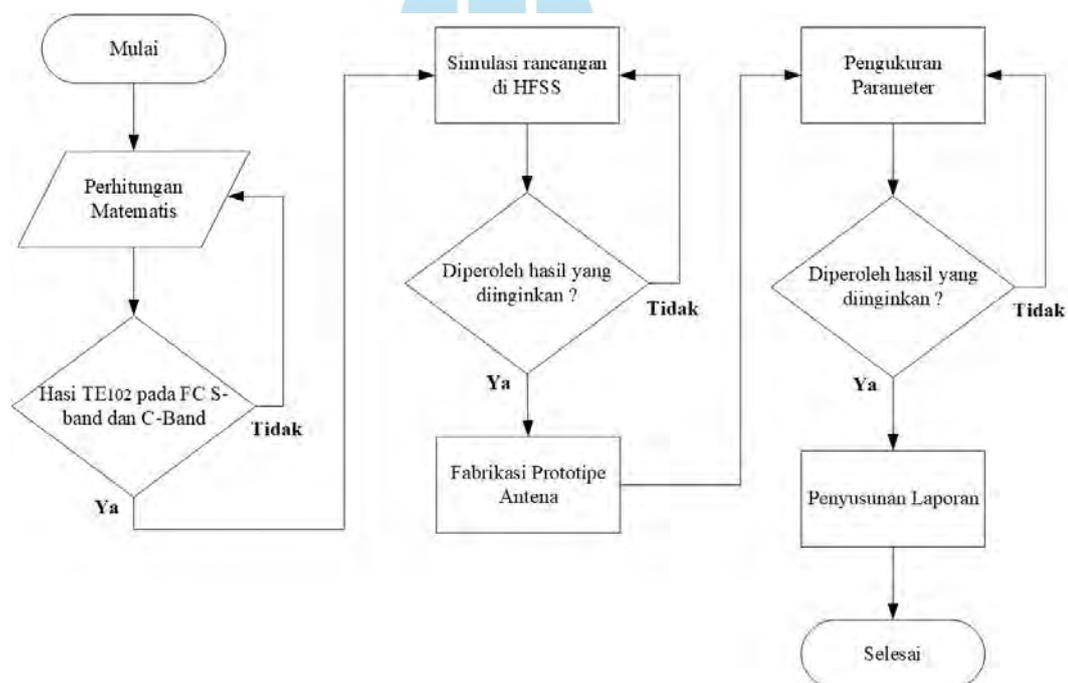
## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab 3 ini akan membahas mengenai metodologi yang digunakan dalam penelitian perancangan HMSIW pada frekuensi s-band ini. Secara garis besar, materi yang dipaparkan berisi tentang kerangka penelitian tesis ini dan bagaimana mengumpulkan data penelitian.

#### 3.1 Diagram Alir Perancangan

Perancangan antenna HMSIW dalam penelitian ini akan melewati beberapa tahapan yang terstruktur dan sistematis, berikut diagram alir perancangan nya.



**Gambar 3.1** *Flowchart* Penelitian

## 3.2 Perlengkapan yang digunakan Dalam Penelitian

Ada dua jenis perlengkapan untuk penelitian ini, pertama adalah perangkat keras dan yang kedua adalah perangkat lunak. Dimana proses perhitungan matematis dan simulasi perancangan antenna menggunakan perangkat lunak. Lalu proses fabrikasi serta pengukuran *prototype* antenna menggunakan perangkat keras.

### 3.2.1 Perangkat lunak

- a. *Software* yang digunakan dalam simulasi penelitian ini adalah ANSYS HFSS. HFSS merupakan perangkat lunak simulasi elektromagnetik (EM) 3D yang digunakan untuk merancang dan menganalisis produk elektronik frekuensi tinggi seperti antenna dan filter. HFSS menawarkan berbagai kemampuan, seperti mendesain dan mensimulasikan antenna, komponen RF dan gelombang mikro, menganalisis integritas sinyal dan daya, serta memprediksi *Electromagnetic Interference* (EMI) dan *Electromagnetic Compatibility* (EMC). Kemampuannya memecahkan berbagai struktur EM, pilihan metode numerik, kapasitas menangani desain kompleks, dan integrasi dengan Electronic Desktop Ansys menjadikannya alat yang sangat berharga bagi para insinyur di bidang desain elektronik dan telekomunikasi.
- b. *Coreldraw G.S. X7*, perangkat lunak yang digunakan untuk mendesain antenna untuk proses *etching* pada *substrate* Roger RT5880.

### 3.2.2 Perangkat keras

Perangkat keras yang digunakan pada perancangan antenna ini adalah.

- a. Substrate Roger RT5880 dengan ketebalan *substrate* 1.575mm.
- b. Konektor SMA dengan impedansi 50Ω.
- c. *Vector network analyzer* (VNA), digunakan untuk pengukuran dan validasi parameter antenna yang sudah di fabrikasi.

### 3.3 Komponen Dielektrik

Berikut detail pemilihan *substrate* Roger RT5880 untuk perancangan antenna pada penelitian ini.

**Tabel 3.1** Spesifikasi *Substrate* Roger RT5880

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Dielectric Constant</i>	2.2	$\epsilon_r$
<i>Density</i>	2.2	gm/cm <sup>3</sup>
Tebal <i>substrate</i>	1.575	mm
Tebal <i>copper</i>	0.035	mm
<i>tangent loss</i>	0.0009	$\delta$
<i>Thermal Conductivity</i>	0.20	W/m/K

### 3.4 Pemilihan Metode Pembuatan Antena

Metode yang akan digunakan dalam pembuatan antenna pada penelitian ini adalah mengadopsi model *Half-Mode SIW* untuk mencapai miniaturisasi antenna hingga 50% dengan memotong setengah antenna SIW konvensional pada frekuensi S-band dan C-band, tanpa mengorbankan performa radiasi. Desain ini diperkuat dengan penerapan slot cincin setengah oktagonal pada bagian dalam struktur SIW (*Inner SIW*) yang berfungsi membangkitkan resonansi ganda pada mode TE<sub>101</sub> dan TE<sub>102</sub>, sehingga memungkinkan perluasan *bandwidth* melalui fenomena multi-resonansi. Selain itu, metode *insert feeding* digunakan untuk memastikan pencocokan impedansi yang optimal, guna menghasilkan *transfer* daya maksimum dan meningkatkan efisiensi keseluruhan antenna.

### 3.5 Desain dan Simulasi Antena

Desain antenna ini memiliki beberapa tahapan dengan tahapan pertama adalah perhitungna matematis dengan menggunakan rumus (2.6) dan (2.7) untuk mendapatkan nilai dimensi antenna serta mengetahui resonansi yang terbentuk pada dimensi antenna yang akan di buat. Penulis menggunakan frekuensi tengah dengan

3 GHz serta tahapan desain pertama yang dibuat adalah SIW konvensional atau *full-mode* SIW. Setelah itu desain selanjutnya adalah antenna *half-mode* SIW tanpa *slot* dan yang terakhir HMSIW menggunakan *slot* segi delapan.

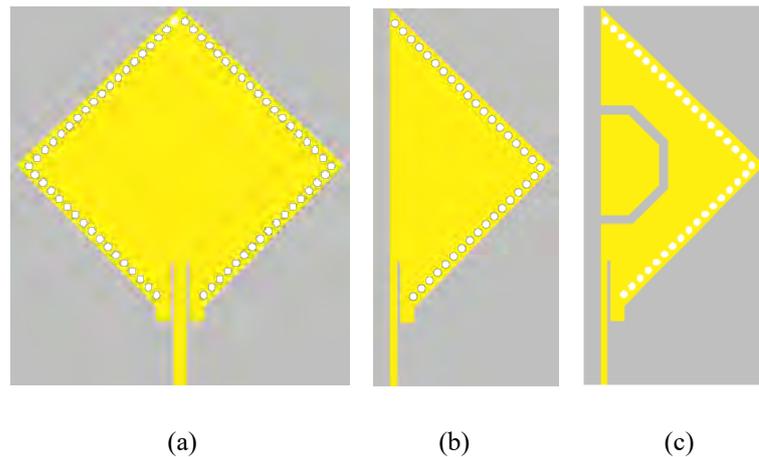
Pemotongan antenna FMSIW dilakukan secara vertikal (sepanjang arah *y-axis*) karena pada bidang ini terdapat bidang simetri yang berfungsi sebagai *quasi-magnetic wall*, yang memungkinkan medan magnet nol secara teoritis. Ini mempertahankan distribusi medan resonansi seperti aslinya. Jika pemotongan dilakukan secara horizontal (arah *x-axis*), distribusi medan tidak dapat dipertahankan karena tidak memenuhi kondisi simetri medan, yang menyebabkan perubahan besar pada resonansi, menghilangkan mode penting, dan menyempitkan bandwidth operasional.

Posisi *feeding* di sudut *patch* memungkinkan eksitasi dua mode ortogonal  $TE_{101}$  dan  $TE_{102}$  secara simultan dengan perbedaan fase mendekati  $90^\circ$ , yang diperlukan untuk menghasilkan gelombang terpolarisasi sirkular. Jika *feeding* tidak ditempatkan di sudut, medan listrik yang dihasilkan tidak akan memiliki perbedaan fase dan amplitudo yang sesuai, sehingga tidak akan terjadi polarisasi sirkular, melainkan hanya polarisasi linear atau bahkan distorsi radiasi.

### 3.5.1 Desain Antena SIW Pada Band Frekuensi S-Band

Tabel 3.2 Daftar Rangkaian *TE mode* yang beresonansi untuk FMSIW

$m \setminus p$	1	2	3	4	5
1	1.99	3.15	4.45	5.81	7.18
2		3.98	5.08	6.30	7.58
3				7.04	8.21
4				7.97	9.02
5					9.96

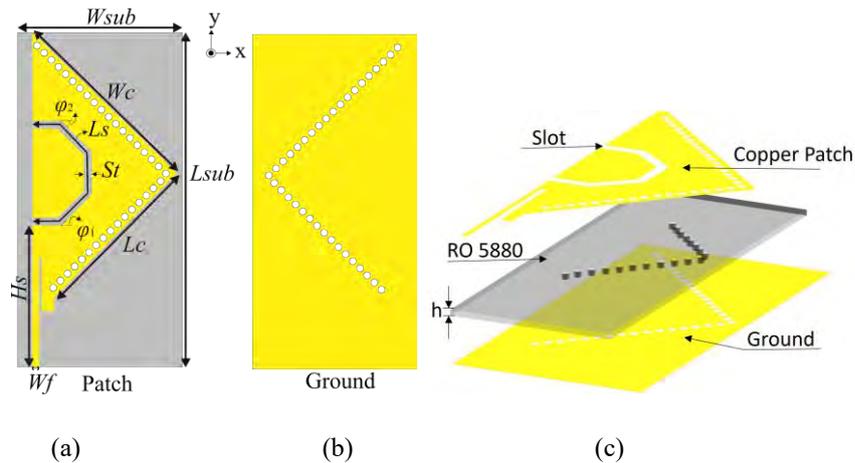


**Gambar 3.2** Evolusi antenna SIW S-band (a) Ant-A, (b) Ant-B, dan (c) Ant-C

Dimensi rongga bagian dalam disesuaikan dengan frekuensi operasi. Antena dirancang untuk beroperasi dalam rentang frekuensi S-band, khususnya dengan memanfaatkan mode  $TE_{101}$  dan  $TE_{102}$  untuk implementasi frekuensi. Dimensi rongga FMSIW bagian dalam ditentukan berdasarkan persyaratan frekuensi mode  $TE_{102}$ , yang ditentukan oleh dimensi  $Lc$ -inner dan  $Wc$ -inner. Rongga bagian dalam diberikan sinyal secara bersamaan menggunakan impedansi karakteristik 50-ohm dan saluran transmisi dengan seperempat panjang gelombang untuk masing-masing. Berikut detail perhitungan desain antena nya.

**Tabel 3.3** Dimensi Antena HMSIW S-Band

Parameter	$W_{sub}$	$L_{sub}$	$W_c$	$L_c$
Nilai	61	125	53.5	53.5
Parameter	$L_s$	$S_t$	$H_s$	$W_f$
Nilai	64.2	3	52.94	2.425

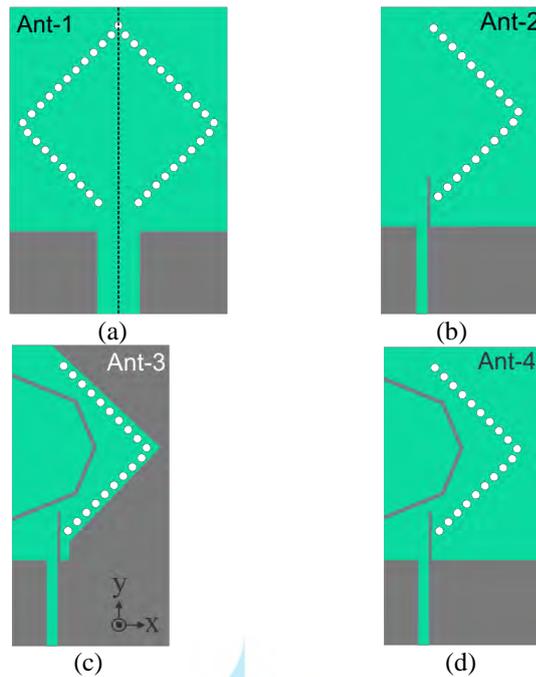


**Gambar 3.3** Desain HMSIW (a) *copper patch geometry*, (b) *ground plane* (c) *HMSIW 3D*

### 3.5.2 Desain Antena SIW Pada Band Frekuensi C-Band

Desain antena SIW *cavity-backed slot* dimulai dengan struktur *planar* yang mengintegrasikan sifat-sifat *waveguide* di dalam substrat dielektrik. Antena ini terdiri dari *cavity* SIW berbentuk persegi panjang dengan *via-holes* logam di sepanjang perimeternya, yang berfungsi untuk membatasi energi elektromagnetik dan meminimalkan kebocoran. Sebuah *slot* diukir pada lapisan atas substrat untuk mendukung radiasi. Mekanisme pemacuan menggunakan *grounded coplanar waveguide* (GCPW) atau microstrip line, yang memastikan transfer energi yang efisien ke dalam *cavity* SIW.

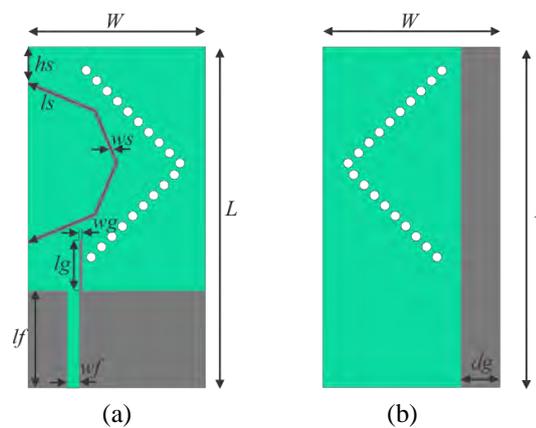
Material substrat yang digunakan adalah Rogers RT/duroid 5880, dengan ketebalan  $h$  sebesar 1,575 mm, *tangent loss*  $\delta$  sebesar 0,0009, dan permitivitas dielektrik relatif  $\epsilon_r$  sebesar 2,2. Substrat berloss rendah ini dipilih untuk menjaga efisiensi tinggi dan meminimalkan kerugian dielektrik. Kombinasi desain berprofil rendah dan material berkinerja tinggi memastikan bahwa antena mencapai karakteristik *bandwidth* dan efisiensi yang diinginkan.

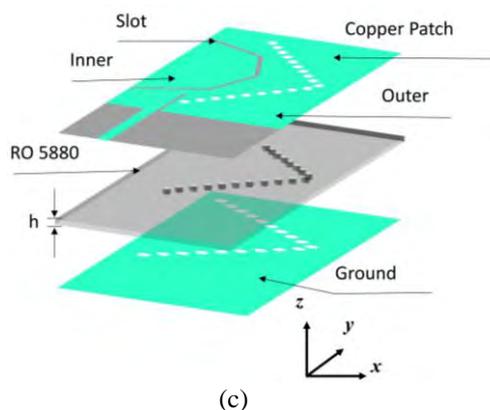


**Gambar 3.4** Evolusi SIW C-band (a) Ant-1, (b) Ant-2, (c) Ant-3, (d) Ant-4

**Tabel 3.4** Dimensi Antena HMSIW C-Band

Parameter	$W$	$L$	$L_f$	$W_f$
Nilai	18	35	10	1.137
Parameter	$L_s$	$W_s$	$H_s$	$h$
Nilai	26.15	0.5	3.45	1.575
Parameter	$L_g$	$W_g$		
Nilai	5.7	0.4		

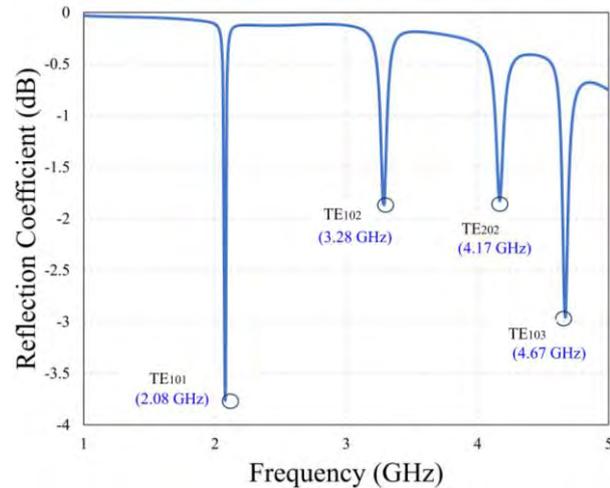




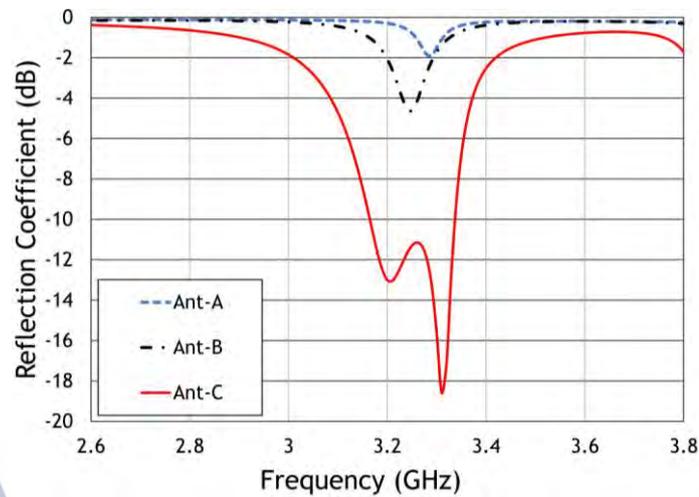
(c)  
**Gambar 3.5** Desain HMSIW dengan slot (a) copper patch, (b) ground plane, (c) HMSIW 3D

### 3.6 Parameter Pengujian *Bandwidth* S-band

Mode TE pada FMSIW S-band dianalisis melalui simulasi menggunakan HFSS, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.6**. Resonansi yang diharapkan untuk mode  $TE_{101}$  dan  $TE_{102}$  terjadi pada frekuensi 2,08 GHz dan 3,28 GHz, secara berurutan. Hasil simulasi ini konsisten dengan perhitungan yang ditunjukkan dalam **Tabel 3.2**. Antena konvensional dengan satu rongga mode penuh SIW, yang disebut Ant-A, ditunjukkan pada **Gambar 3.2 (a)** Ant-A masih memiliki lebar pita yang sempit dan nilai koefisien refleksi tetap suboptimal karena tidak memenuhi standar  $-10$  dB, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.6**. Ant-A dimodifikasi dengan memotong separuh bagian vertikalnya di garis tengah sehingga menjadi 2 bagian Ant-B HMSIW, yang merupakan miniaturisasi sebesar 50% dari struktur antena FMSIW, seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.2(b)**. Namun, status koefisien refleksi dari Ant-B masih belum cukup baik dan memiliki lebar pita yang sempit, seperti terlihat pada **Gambar 3.7**.

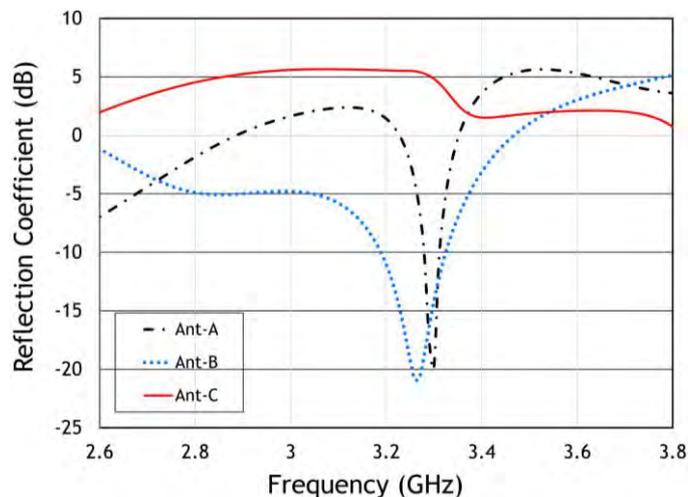


Gambar 3.6 Simulasi koefisien refleksi ( $S_{11}$ ) untuk FMSIW pada Ant-A



Gambar 3.7 Perbandingan simulasi koefisien refleksi ( $S_{11}$ ) Ant-A, Ant-B dan Ant-C

Ant-C menggunakan *slot* cincin setengah oktagonal yang berfungsi sebagai celah radiasi di dalam rongga. *Slot* cincin oktagonal pada Ant-C terdiri dari lima segmen: dua segmen horizontal, satu vertikal, satu miring kiri, dan satu miring kanan. Segmen miring kiri dan kanan ditempatkan masing-masing pada sudut  $\phi_1 = -45^\circ$  dan  $\phi_2 = 45^\circ$ . Panjang total celah cincin setengah oktagonal ini didasarkan pada panjang gelombang pemandu untuk mode TE<sub>102</sub> FMSIW. Lebar pita fraksional pada Ant-C meningkat menjadi 5,2% (3,17–3,34 GHz) karena adanya frekuensi resonansi ganda yang terbentuk dari penambahan celah cincin setengah oktagonal di dalam rongga.



**Gambar 3.8** Simulasi hasil nilai *Gain*

**Gambar 3.8** menampilkan perbandingan pencapaian gain maksimum pada berbagai tahap pengembangan antenna. Ant-A mencapai gain puncak maksimum 3,40 dBi pada 3,57 GHz, dengan fluktuasi *gain* yang cukup signifikan. Sebaliknya, Ant-B mencapai gain puncak maksimum 5,13 dBi pada 3,8 GHz, sedangkan Ant-C mencapai maksimum 5,47 dBi pada 3,26 GHz. Baik Ant-B maupun Ant-C menunjukkan gain puncak yang lebih tinggi dibandingkan Ant-A. Nilai *gain* Ant-C dalam rentang frekuensi 3,17–3,34 GHz cukup stabil di atas 5 dBi. Puncak *gain* yang lebih rata pada Ant-C terjadi karena kombinasi mode TE yang tergabung, dibandingkan dengan Ant-A dan Ant-B yang hanya memiliki satu mode TE.

### 3.7 Parameter Pengujian *Bandwidth* C-band

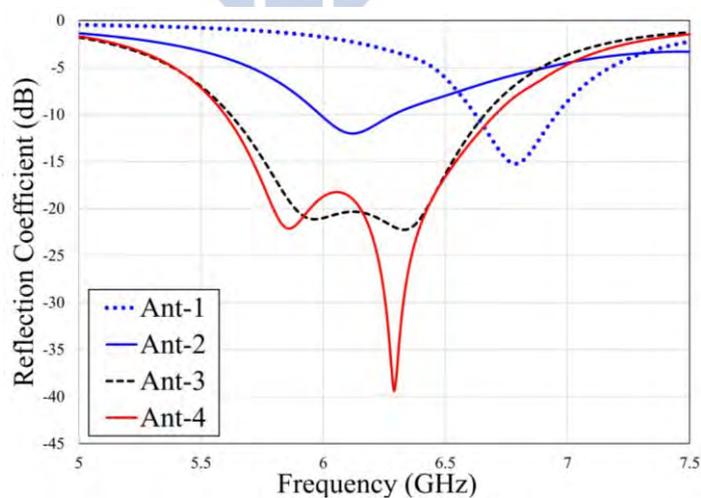
Evolusi desain antenna SIW *cavity-backed slot* terdiri dari empat tahap pengembangan, yaitu Ant-1, Ant-2, Ant-3, dan desain akhir Ant-4. Pengembangan iteratif ini berfokus pada peningkatan *bandwidth*, *gain*, dan efisiensi keseluruhan, sambil mempertahankan struktur berprofil rendah.

Ant-1 menggunakan desain dasar dengan *slot* berbentuk berlian di dalam *cavity* SIW. Parameter  $S_{11}$  menunjukkan *bandwidth* operasional antara 6,62 GHz hingga 6,96 GHz dengan satu resonansi. *Bandwidth* impedansi yang dihasilkan adalah 4,9%. Geometri *slot* simetris memberikan karakteristik radiasi fundamental,

namun *bandwidth* dan *gain* masih terbatas karena eksitasi mode resonansi yang terbatas.

Ant-2 memperkenalkan konfigurasi HMSIW. Modifikasi ini mengubah distribusi arus di dalam *cavity* sehingga meningkatkan pencocokan impedansi. Parameter  $S_{11}$  menunjukkan *bandwidth* operasional dari 5,99 GHz hingga 6,29 GHz, masih dengan satu resonansi. *Bandwidth* impedansi meningkat menjadi 5%. Meskipun Ant-2 sedikit meningkatkan *bandwidth* dibandingkan Ant-1, peningkatan *gain* masih bersifat moderat.

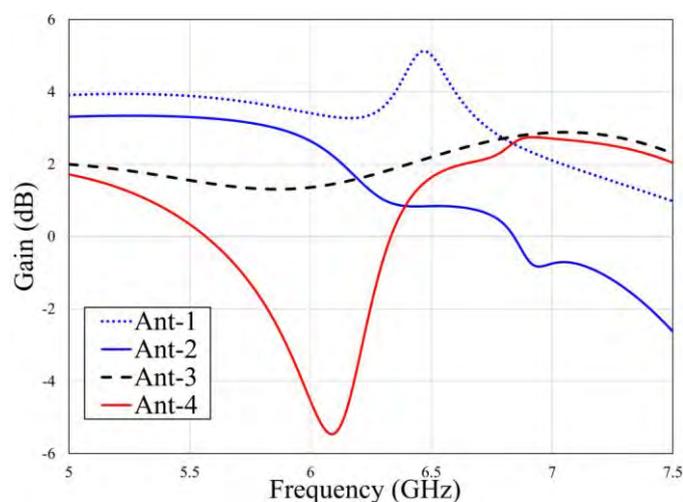
Ant-3 menghadirkan peningkatan signifikan dengan penambahan *slot* berbentuk cincin setengah oktagon dan optimasi parameter *cavity*. *Slot* cincin setengah oktagon ini terdiri atas empat segmen yang diposisikan pada  $\varphi_1 = 22,5^\circ$ ,  $\varphi_2 = 157,5^\circ$ ,  $\varphi_3 = -22,5^\circ$ , dan  $\varphi_4 = -157,5^\circ$ . Penambahan *slot* ini menciptakan frekuensi resonansi ganda, yang terlihat dari parameter  $S_{11}$  dengan *bandwidth* operasional yang meluas dari 5,62 GHz hingga 6,66 GHz. *Bandwidth* impedansi meningkat menjadi 16,9%. Peningkatan ini menghasilkan *bandwidth* yang lebih luas dan efisiensi pencocokan impedansi yang lebih baik.



**Gambar 3.9** Simulasi koefisien Refleksi  $S_{11}$  Antena C-band

Ant-4 melanjutkan desain Ant-3 dengan optimalisasi lebih lanjut pada struktur *slot* dan *cavity* luar bawah. Secara khusus, Ant-4 menggunakan *slot* cincin setengah oktagon sebagai elemen radiasi utama di dalam *cavity*. Penambahan *cavity* luar bawah meningkatkan propagasi medan listrik (*E-field*) ke area ini, yang

berkontribusi pada pelebaran *bandwidth* impedansi. Modifikasi ini memungkinkan mode  $TE_{101}$  dan  $TE_{102}$  untuk berinteraksi lebih efektif, menghasilkan respons frekuensi yang lebih luas. Parameter  $S_{11}$  menunjukkan *bandwidth* operasional yang meluas dari 5,60 GHz hingga 6,71 GHz dengan karakteristik resonansi ganda. *Bandwidth* impedansi yang dihasilkan adalah 18% seperti **Gambar 3.9**. Meskipun *bandwidth* meningkat, *gain* maksimum Ant-4 tetap 2,73 dB pada rentang frekuensi 5 GHz hingga 7,5 GHz seperti terlihat pada **Gambar 3.10**.



**Gambar 3.10** Simulasi *Gain* Antena C-band

Karakteristik polarisasi Ant-4 dievaluasi berdasarkan hasil simulasi untuk rasio aksial (*axial ratio*/AR) pada rentang frekuensi 5 GHz hingga 7,5 GHz. Rasio aksial mengukur perbandingan antara sumbu mayor dan sumbu minor dari vektor medan listrik dalam gelombang radiasi, yang umum digunakan untuk membedakan antara polarisasi *linear* dan polarisasi melingkar.

*Plot* rasio aksial untuk Ant-4 menunjukkan nilai minimum sebesar 5,6 dB pada frekuensi 6,18 GHz. Secara umum, rasio aksial sebesar 3 dB atau lebih rendah menunjukkan polarisasi melingkar, sedangkan nilai yang secara signifikan lebih tinggi dari 3 dB menunjukkan polarisasi linear. Karena nilai rasio aksial terendah yang diamati untuk Ant-4 adalah 5,6 dB, ini mengonfirmasi bahwa antenna beroperasi dengan polarisasi linear di seluruh rentang *bandwidth* operasionalnya.