

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada zaman sekarang, kebutuhan terhadap informasi semakin meningkat. Informasi sangat penting bagi masyarakat, baik untuk kebutuhan sehari-hari, bisnis, pendidikan, maupun hiburan. Namun, semakin banyaknya kebutuhan terhadap informasi dan kondisi geografis menjadi salah satu hal yang mendasari berkembangnya teknologi komunikasi hingga saat ini. Dengan berkembangnya teknologi komunikasi yang awalnya menggunakan kabel sebagai media penyaluran informasi antar masyarakat, sekarang sudah berkembang teknologi jaringan tanpa kabel (*wireless*) sehingga lebih fleksibel dan menunjang mobilitas dari masyarakat.

Wi-Fi adalah produk teknologi jaringan *wireless* yang dikembangkan oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE). Salah satu versi terbaru dari Wi-Fi adalah Wi-Fi 6. Pada tahun 2020, *The United States Federal Communications Commission* (FCC) menyetujui penggunaan pita frekuensi 6 GHz untuk Wi-Fi 6 sehingga memiliki *bandwidth* hingga 1.200 MHz dengan rentang frekuensi 5,925-6,545 GHz dan 5,925-7,125 GHz. Wi-Fi 6E memiliki kelebihan berupa bisa diakses oleh aplikasi IoT seperti *smartphone* dibandingkan dengan versi Wi-Fi sebelumnya[1]. Untuk dapat melakukan pengiriman dan penerimaan data menggunakan teknologi ini, maka dibutuhkan sebuah antena.

Antena adalah sebuah perangkat yang terbuat dari logam untuk meradiasikan ataupun menerima gelombang radio. Salah satu jenis antena yang populer digunakan oleh masyarakat, yaitu antena mikrostrip. Antena ini memiliki karakteristik berupa ukuran yang kecil, ringan, fleksibel, mudah difabrikasi, dan harga yang murah. Namun, antena ini memiliki *bandwidth* yang sempit[2-3]. Oleh karena itu, dibutuhkan metode yang dapat memperbesar ukuran *bandwidth*.

Ada berbagai macam metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan *bandwidth* pada antena. Pada penelitian [4] menggunakan metamaterial dan MEMS (*Microelectromechanical Systems*) *switches* dengan *microstrip line feed* pada antena mikrostrip *rectangular patch array* sehingga mendapatkan *bandwidth* yang bekerja pada rentang frekuensi 5.735-5.964 GHz (non-aktif) dan 5.964-6.364 GHz (aktif) untuk aplikasi Wi-Fi 5, 6, dan 6E. Kemudian, penelitian [5] menggunakan antena mikrostrip *rectangular patch* dengan potongan segitiga dan *rectangular slot* berbentuk 'L' pada *ground plane* sehingga mampu bekerja pada frekuensi UWB (*Ultra-wideband*) dengan rentang frekuensi 2,83-10,92 GHz. Pada penelitian [6] menggunakan antena mikrostrip *rectangular patch* dengan *rectangular slot* pada bagian *ground plane* sehingga dapat meningkatkan *bandwidth* yang mampu bekerja pada rentang frekuensi 5658.4-7347.1 MHz untuk Wi-Fi 6E. Selanjutnya, penelitian [7] menggunakan antena mikrostrip *rectangular patch* dengan *rectangular slit* dan elemen parasitik sehingga dapat meningkatkan *bandwidth*

dengan hasil yang didapatkan sebesar 1,601 GHz pada frekuensi kerja 15 GHz untuk aplikasi 5G. Terakhir, penelitian [8] menggunakan 2 *rectangular slot* pada antenna mikrostrip *rectangular patch* yang menyerupai bentuk 'S' dengan pemotongan *substrate*, modifikasi *microstrip line feed* menyerupai tangga, serta teknik DGS (*Defected Ground Structure*) berupa pengurangan ukuran luas dimensi dan 2 *rectangular slot* pada *ground plane* sehingga didapatkan *bandwidth* dengan rentang frekuensi 5-24,5 GHz yang mampu bekerja untuk frekuensi UWB, X-band, dan Ku-band.

Berdasarkan dengan hal di atas, maka pada tugas akhir ini digunakan 2 metode untuk meningkatkan *bandwidth*, yaitu DGS dan *rectangular slot*. Untuk *rectangular slot* berdasarkan pada penelitian [8] dimana pada tahap penerapan sebuah *rectangular slot* dapat meningkatkan *bandwidth* dalam bentuk *multiband* dari rentang frekuensi 11,2-11,9 GHz, 19,6-20,35 GHz, dan 23,8-25 GHz menjadi 9,3-10,9 GHz, 14,6-15,4 GHz, dan 19,77-25 GHz. Total *bandwidth* yang dihasilkan mengalami peningkatan dari 2,65 GHz menjadi 4,88 GHz dengan masing-masing perubahan *bandwidth* sebesar 0,9 GHz, -0,05 GHz, dan 4,03 GHz. Kemudian, untuk DGS berdasarkan pada penelitian [6] dimana sebuah potongan *rectangular* yang sederhana dapat meningkatkan *bandwidth* dari 529,6 MHz menjadi 1.688,7 MHz. Oleh sebab itu, pada tugas akhir ini sebuah antenna mikrostrip disimulasikan dengan *patch* berbentuk *rectangular*, pencatuan *microstrip line*, dan *substrate*-nya dari FR-4 (*Epoxy*), serta menggunakan *rectangular slot* di sisi kanan *patch* dan DGS berupa potongan *rectangular* di sudut kanan bawah *ground plane* untuk dapat meningkatkan *bandwidth*. Pada antenna ini juga dilakukan pemotongan *substrate* yang berdasarkan penelitian dari [8] untuk mengurangi ukuran dimensi antenna. Antena ini dapat digunakan pada rentang frekuensi 5,925-7,125 GHz dari Wi-Fi 6E. *Software* Ansoft HFSS (*High Frequency Structure Simulator*) versi 13.0 digunakan untuk mensimulasikan antenna.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk menganalisis penggunaan metode DGS dan *rectangular slot* dalam peningkatan *bandwidth* pada antenna mikrostrip *rectangular patch* dengan pencatuan *microstrip line* dan pemotongan *substrate* yang dapat bekerja pada rentang frekuensi 5,925 GHz-7,125 GHz dari Wi-Fi 6E.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada tugas akhir ini, yaitu:

1. Apa saja parameter yang dianalisa pada antenna mikrostrip *rectangular patch*?
2. Bagaimana hasil antenna yang disimulasikan, baik yang sebelum dan sesudah menggunakan metode DGS serta *rectangular slot* terhadap parameter-parameter antenna yang diharapkan?

3. Apakah penggunaan pemotongan *substrate* dapat mengurangi ukuran dimensi antena?
4. Apakah antena dapat bekerja pada frekuensi Wi-Fi 6E (5,925 – 7,125 GHz)?

1.4 Batasan Masalah

Berikut batasan masalah dari tugas akhir ini, yaitu:

1. Antena mikrostrip mampu bekerja pada frekuensi Wi-Fi 6E dengan rentang dari 5,925 GHz sampai dengan 7,125 GHz.
2. Antena mikrostrip disimulasikan dengan *patch*-nya berbentuk *rectangular* dan pencatunya berupa *microstrip line*.
3. Menggunakan pemotongan *substrate* pada antena mikrostrip.
4. Peningkatan *bandwidth* menggunakan metode DGS dan *rectangular slot* pada *patch*.
5. Antena disimulasikan menggunakan *software* Ansoft versi 13.0.
6. Parameter yang dianalisa yaitu *return loss*, *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), *gain*, *bandwidth*, dan frekuensi kerja.
7. Antena yang dianalisa berupa antena konvensional dan antena konvensional dengan pemotongan *substrate*. Setelahnya, antena yang menggunakan salah satu dari metode DGS dan *rectangular slot*, serta antena yang menggunakan kedua metode tersebut disaat yang bersamaan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari tugas akhir ini, yaitu:

1. Dapat mengetahui pengaruh penggunaan DGS dan *rectangular slot* dalam peningkatan *bandwidth*, baik ketika digunakan salah satu metodenya maupun ketika digunakan pada antena mikrostrip *rectangular patch* secara bersamaan.
2. Dapat mengetahui pengaruh pemotongan *substrate* terhadap ukuran dimensi antena.
3. Tugas akhir ini dapat dijadikan sebagai referensi dalam penggunaan metode DGS dan *rectangular slot* bagi peneliti lainnya.
4. Antena dari hasil tugas akhir ini bisa disimulasikan pada frekuensi Wi-Fi 6E dengan rentang dari 5,925 GHz sampai dengan 7,125 GHz.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir disusun dalam beberapa bab dengan ketentuan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab I berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab II berisi tentang tinjauan teori yang mendukung dalam penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

BAB III berisi tentang penjelasan dari langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian.

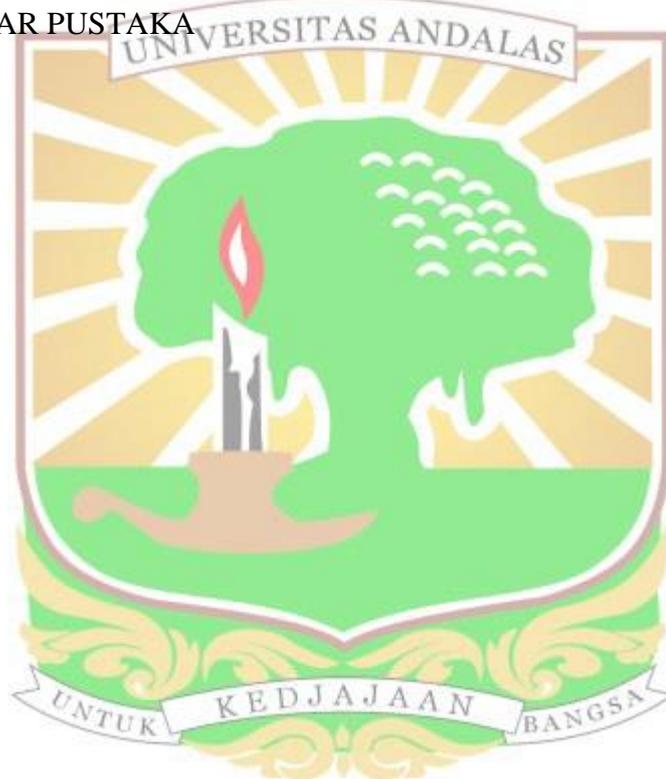
BAB IV HASIL DAN ANALISA

Bab IV berisi tentang hasil dan analisa dari penelitian yang dilakukan.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Bab V berisi tentang kesimpulan dan saran yang bisa disampaikan berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Wi-Fi 6/6E

Wi-Fi 6 adalah Wi-Fi versi terbaru yang dikembangkan oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineers* dan disertifikasi oleh *Wi-Fi Alliance* pada tahun 2019. Pada tahun 2020, *The United States Federal Communications Commission* (FCC) menyetujui pembukaan pita frekuensi 6 GHz dengan penambahan hingga 1.200 MHz pada spektrum frekuensi untuk dapat digunakan oleh Wi-Fi 6, yang kemudian dikenal dengan Wi-Fi 6E[1, 9].

Wi-Fi 6/6E memiliki kelebihan-kelebihan jika dibandingkan dengan versi Wi-Fi sebelumnya[1], di antaranya yaitu:

1. Memiliki *maximum data rate* hingga 9,6 Gbps yang bisa dibagi sehingga dapat meningkatkan kecepatannya.
2. Menggunakan metode *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) yang membagi sebuah *channel* menjadi ke dalam beberapa *sub-channel*.
3. Menggunakan 1024 *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) sehingga semakin banyak data yang bisa dilewati tiap pengiriman data.
4. Pengembangan *Multi-user Multiple-Input Multiple-Output* (MU-MIMO) yang mendukung hingga 8 pengguna sekaligus, sehingga bisa digunakan oleh pengirim dan penerima di saat yang bersamaan.
5. Fitur *Target Wake Time* (TWT) memberikan jadwal dengan mengaktifkan perangkat penerima ketika menerima data dan mematikannya sesudahnya untuk mengurangi konsumsi daya.
6. Memiliki pita frekuensi 2,4 GHz, 5 GHz, dan 6 GHz sehingga juga bisa digunakan oleh aplikasi IoT dengan *bandwidth* rendah seperti *smartphone*.

Berdasarkan data dari *Wi-Fi Alliance*, terdapat 41 negara yang telah menerapkan atau mempertimbangkan penggunaan Wi-Fi 6E yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Daftar Negara yang Menerapkan atau Mempertimbangkan Penggunaan Wi-Fi 6E[1]

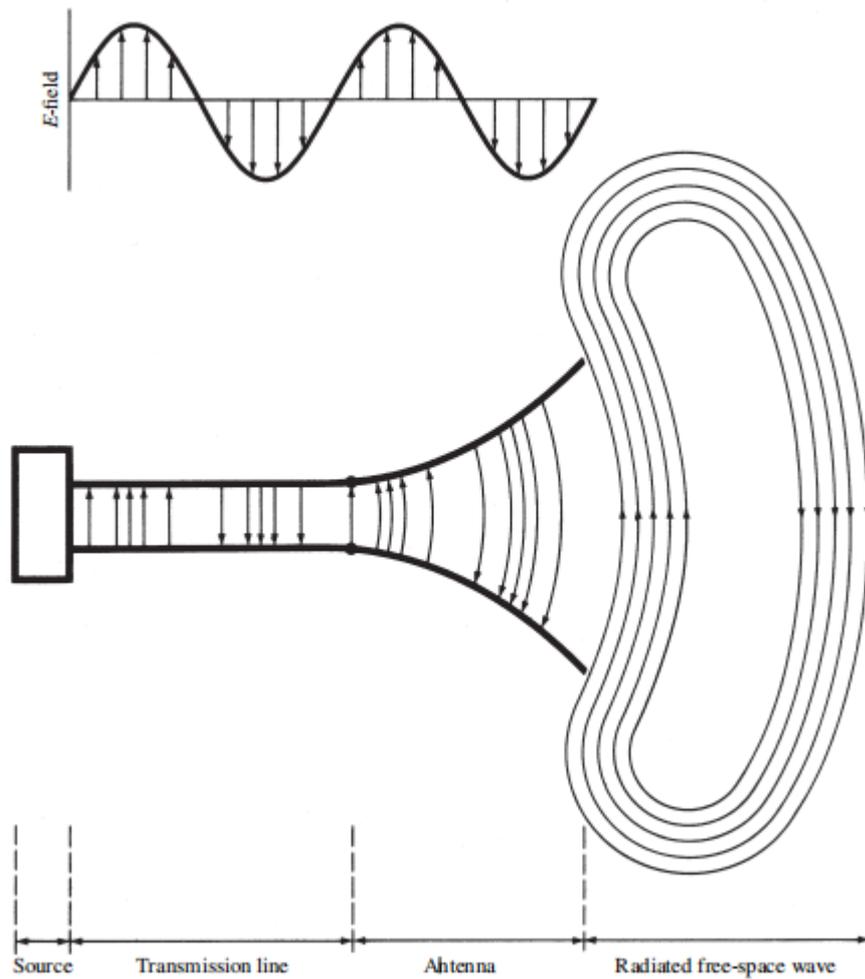
Negara	Status	Spektrum
Argentina	Mempertimbangkan	5925-6425 MHz
Australia	Mempertimbangkan	5925-7125 MHz
Brazil	Diterapkan	5925-7125 MHz

Negara	Status	Spektrum
CEPT	Mempertimbangkan	5925-6425 MHz (hanya mempertimbangkan 5945-6425)
Canada	Diterapkan	5925-7125 MHz
Chile	Diterapkan	5925-7125 MHz
Colombia	Mempertimbangkan	5925-7125 MHz
Costa Rica	Diterapkan	5925-7125 MHz
Egypt	Mempertimbangkan	5925-6425 MHz
European Union	Diterapkan	5925-6425 MHz (hanya mempertimbangkan 5945-6425)
Guatemala	Diterapkan	5925-7125 MHz
Honduras	Diterapkan	5925-7125 MHz
Japan	Mempertimbangkan	5925-7125 MHz
Jordan	Mempertimbangkan	5925-7125 MHz
Kenya	Mempertimbangkan	5925-7125 MHz
Malaysia	Mempertimbangkan	5925-7125 MHz
Mexico	Mempertimbangkan	5925-7125 MHz
Morocco	Diterapkan	5925-6425 MHz
New Zealand	Mempertimbangkan	5925-6425 MHz
Norway	Diterapkan	5925-6425 MHz
Oman	Mempertimbangkan	5925-6425 MHz
Peru	Diterapkan	5925-7125 MHz
Qatar	Mempertimbangkan	5925-7125 MHz
Saudi Arabia	Diterapkan	5925-7125 MHz
South Korea	Diterapkan	5925-7125 MHz
Tunisia	Mempertimbangkan	5925-6425 MHz
Turkey	Mempertimbangkan	5925-6425 MHz
United Arab Emirates	Diterapkan	5925-6425 MHz
United Kingdom	Diterapkan	5925-6425 MHz
United States	Diterapkan	5925-7125 MHz

2.2 Antena

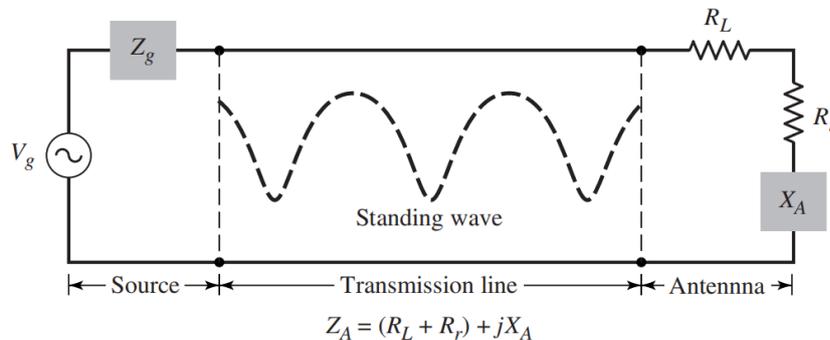
Menurut *Webster's Dictionary*, antena diartikan sebagai sebuah perangkat yang biasanya terbuat dari logam (berupa batang atau kawat) untuk meradiasikan atau menerima gelombang radio. Sedangkan menurut *IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas* (IEEE Std 145–1983), antena diartikan sebagai sebuah alat untuk meradiasikan atau menerima gelombang radio. Dapat disimpulkan bahwa

antena merupakan sebuah struktur transisi antara ruang bebas dengan perangkat pemandu[2].



Gambar 2.1 Antena sebagai Alat Transisi[2]

Sebuah perangkat pemandu atau bisa juga disebut sebagai saluran transmisi memiliki fungsi untuk mengirimkan gelombang elektromagnetik dari sumber menuju antena ataupun dari antena menuju penerima. Dengan begitu, masing-masing dikenal sebagai pengirim dan penerima antena[2].



Gambar 2.2 Bentuk Rangkaian *Thevenin Equivalent* Antena dalam Mode Transmisi[2]

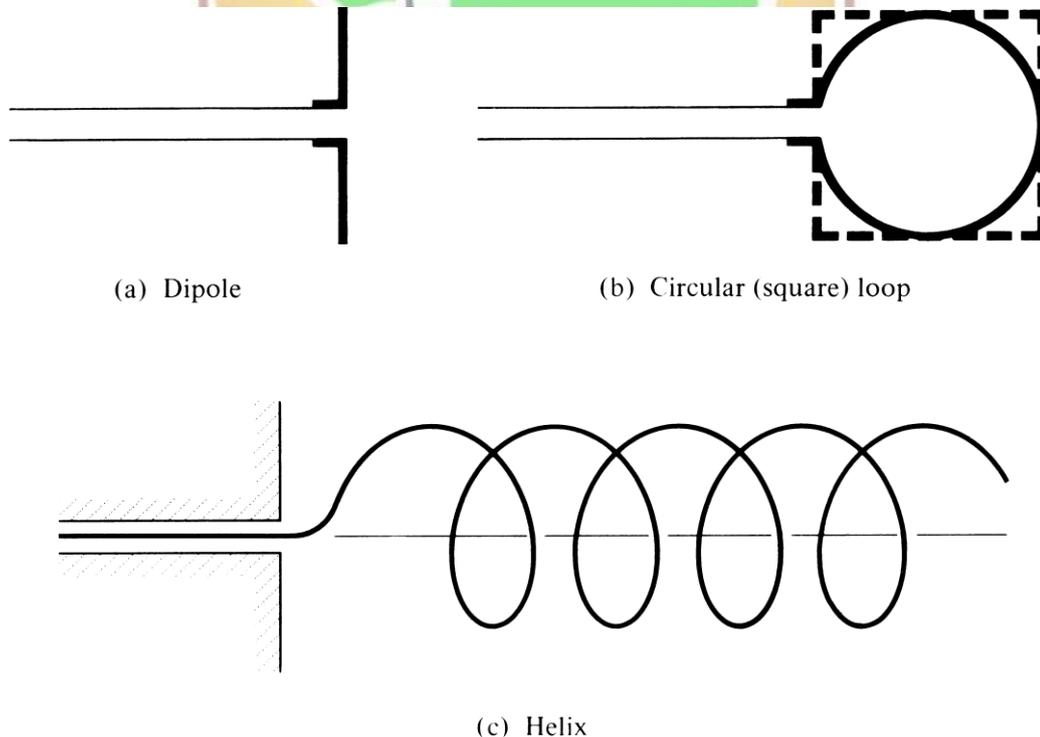
Berdasarkan Gambar 2.1 dan 2.2, antena dapat dianalisis dengan merepresentasikannya ke dalam bentuk rangkaian *Thevenin equivalent*. *Source* atau pembangkit listrik direpresentasikan sebagai V_g dengan tahanannya sebagai Z_g . *Transmission line* direpresentasikan sebagai saluran dengan impedansi karakteristik Z_c . R_L direpresentasikan sebagai konduksi dan dielektrik *losses*. R_r direpresentasikan sebagai tahanan radiasi. X_A direpresentasikan sebagai nilai imajiner reaktansi antena. Sedangkan antena direpresentasikan sebagai beban yang terhubung dengan *transmission line* dan dirumuskan menjadi $Z_A = (R_L + R_r) + jX_A$. Dengan mempertimbangkan *losses* yang diakibatkan selama proses transmisi, maka kondisi antara *transmission line* dan antena harus *matching* untuk dapat mengirimkan daya dengan maksimum[2].

2.3 Jenis-jenis Antena

Antena memiliki berbagai macam bentuk dengan fungsi tertentu[2], di antaranya:

1. Wire Antenna

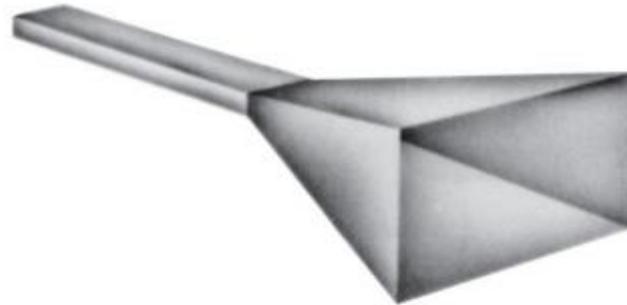
Wire antenna atau antena kawat merupakan antena yang cukup dikenal oleh orang awam. Antena ini dapat ditemukan pada mobil maupun bangunan. Antena kawat memiliki variasi bentuk seperti kawat lurus (*dipole*), *loop*, dan *helix*.



Gambar 2.3 Konfigurasi *Wire Antenna*[2]

2. Aperture Antenna

Aperture Antenna merupakan antenna yang cukup banyak diminati karena bentuknya yang canggih dan dapat digunakan untuk frekuensi tinggi. Antena ini sangat berguna dalam pengaplikasiannya pada pesawat terbang dan pesawat luar angkasa. Berikut bentuk umum dari antena ini seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.4.



(a) Pyramidal horn



(b) Conical horn

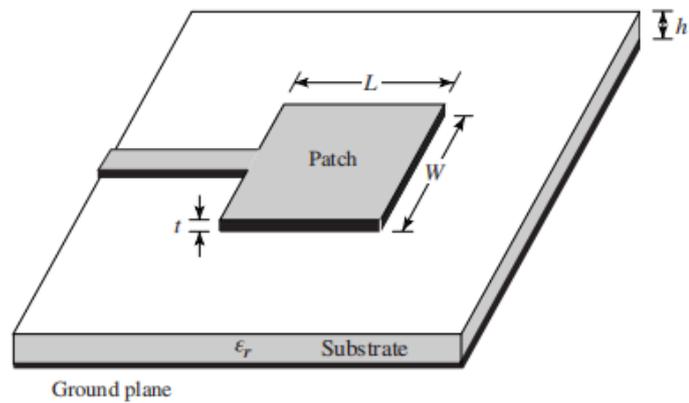


(c) Rectangular waveguide

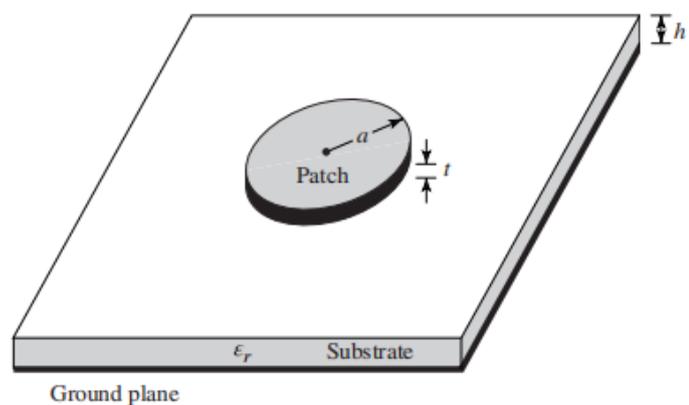
Gambar 2.4 Konfigurasi *Aperture Antenna*[2]

3. *Microstrip Antenna*

Microstrip antenna merupakan antenna yang memiliki bentuk yang kecil dan saat ini digunakan untuk kebutuhan pemerintah dan komersial. Antena ini memiliki berbagai macam bentuk seperti pada Gambar 2.5.



(a) Rectangular

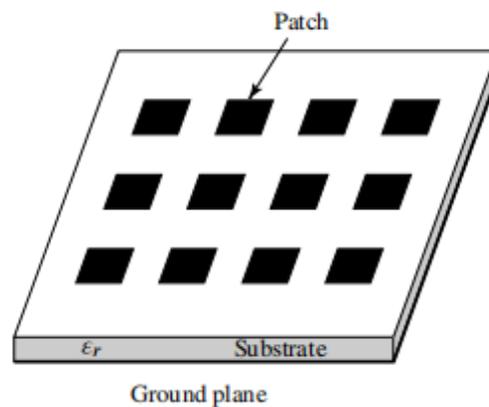


(b) Circular

Gambar 2.5 Konfigurasi *Microstrip Antenna*[2]

4. *Array Antenna*

Array antenna merupakan susunan dari beberapa komponen radiasi yang teratur sehingga menghasilkan antenna baru. Antena ini bertujuan untuk mendapatkan radiasi maksimum yang lebih terarah dan meminimalkannya di arah lain. Contoh bentuk *array antenna* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Konfigurasi *Microstrip Antenna* dalam Bentuk *Array*[2]

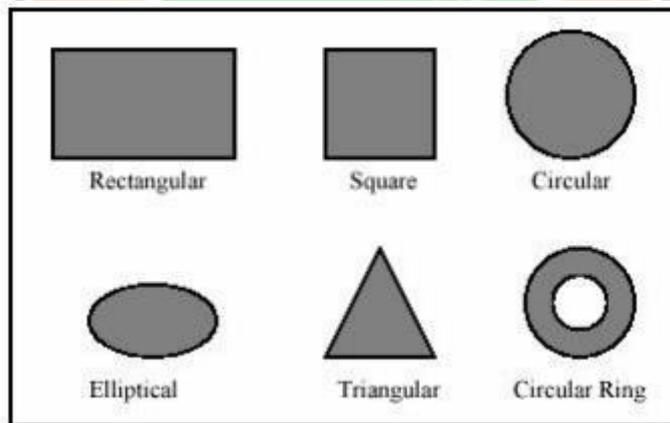
2.4 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan sebuah lempengan konduktor tipis yang ditempelkan di atas sebuah lapisan konduktor tipis lainnya dan di antaranya terdapat sebuah lapisan dari bahan dielektrik. Ide dalam penciptaan antena ini dimulai pada tahun 1953 dan dipatenkan pada tahun 1955. Antena ini kemudian menjadi sangat populer pada tahun 1970. Hal ini disebabkan adanya dukungan berupa ketersediaan bahan *substrate* yang baik, adanya peningkatan dalam teknik pencetakannya, dan bertambahnya teori mengenai model-model antena mikrostrip[10].

Antena mikrostrip memiliki 3 lapisan[11], yaitu:

1. Patch

Patch merupakan sebuah lempengan yang umumnya terbuat dari bahan logam (seperti tembaga) dan memiliki ketebalan yang tipis. Ukuran dari *patch* sangat mempengaruhi frekuensi kerja antena, baik dari panjang, lebar, maupun radiusnya. Ada beberapa macam bentuk yang umum digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Bentuk Umum *Patch* pada Antena Mikrostrip[11]

2. Substrate

Substrate merupakan lapisan yang membatasi antara *patch* dan *ground plane*. *Substrate* memiliki konstanta dielektrik ϵ_r dan ketebalan dengan kriteria yang bervariasi. Jika semakin tebal *substrate* yang digunakan, maka semakin besar *bandwidth* pada antena. FR-4 (*Epoxy*) merupakan salah satu jenis *substrate* yang memiliki konstanta dielektrik ϵ_r sebesar 4,4 dan ketebalan sebesar 1,6 mm.

3. Ground Plane

Ground Plane merupakan lapisan terbawah yang berfungsi sebagai reflektor terhadap gelombang elektromagnetik yang tidak diinginkan. Lapisan ini terbuat dari bahan logam seperti pada *patch*.

Antena mikrostrip memiliki beberapa kelebihan, di antaranya memiliki massa yang ringan, mudah difabrikasi, ukuran yang kecil, harga yang sangat murah,

fleksibel sehingga bisa menghasilkan berbagai macam pola dan polarisasi yang berbeda, serta struktur yang kuat. Namun, antena ini juga memiliki kekurangan, di antaranya *bandwidth* yang sempit, *gain* dan *directivity* yang kecil, serta efisiensi rendah[3].

2.5 Antena Mikrostrip *Rectangular Patch*

Antena mikrostrip *rectangular patch* merupakan antena mikrostrip yang paling umum digunakan karena mudah difabrikasi dan dikonfigurasi bentuk dimensinya. Antena ini memiliki *patch* berbentuk persegi panjang dengan dimensinya berupa panjang (L) dan lebar (W). Adapun rumus yang digunakan untuk mendapatkan dimensi dari antena mikrostrip *rectangular patch*[2], yaitu:

- a. Frekuensi Kerja

$$f_r = f_L + \left(\frac{f_H - f_L}{2} \right) \quad (2.1)$$

Keterangan:

- f_r = frekuensi tengah/kerja (Hz)
 f_H = frekuensi tertinggi (Hz)
 f_L = frekuensi terendah (Hz).

- b. *Rectangular Patch*

$$W = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (2.2)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W}}} \right) \quad (2.3)$$

$$\Delta L = 0,412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad (2.4)$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (2.5)$$

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (2.6)$$

Keterangan:

- W = lebar *patch* (mm)
 c = kecepatan cahaya 3×10^8 m/s
 f_r = frekuensi kerja antena (Hz)
 ϵ_r = konstanta dielektik substrat
 L = panjang *patch* (mm)
 h = ketebalan *substrate* (mm)
 ϵ_{reff} = konstanta dielektrik efektif
 ΔL = pertambahan panjang L (mm), akibat adanya *fringing effect*
 L_{eff} = panjang *patch* efektif (mm).

- c. *Ground Plane dan Substrate*

$$L_g = 6h + L \quad (2.7)$$

$$W_g = 6h + W \quad (2.8)$$

$$L_s = L_g \quad (2.9)$$

$$W_s = W_g \quad (2.10)$$

Keterangan:

L_g = panjang *ground plane* (mm)

W_g = lebar *ground plane* (mm)

L_s = panjang *substrate* (mm)

W_s = lebar *substrate* (mm).

2.6 Microstrip Line Feeding

Microstrip line feeding merupakan salah satu dari *The Big Four* yang menghubungkan antara saluran transmisi dengan tepi *patch*. Metode ini memiliki keunggulan berupa proses desain dan fabrikasinya yang mudah dilakukan. Namun, antenna memiliki kekurangan yang diakibatkan oleh tepi *patch* yang memiliki tegangan maksimum sehingga distribusi arus bernilai minimum. Dengan begitu, tepi *patch* yang memiliki *input* impedansi maksimum sekitar 150-300 ohm harus *matching* dengan impedansi karakteristik saluran transmisi sebesar 50 ohm (Z_0)[12].

Adapun rumus yang digunakan untuk mendapatkan dimensi pencatu *microstrip line*. Untuk mencari lebar saluran transmisi (W_f), terdapat 2 syarat yang dirumuskan oleh Hammerstad[13-14], yaitu:

a. Ketika $\frac{W_f}{h} \leq 2$

$$W_f = \left(\frac{8 \times h \times e^A}{e^{(2A)} - 2} \right) \quad (2.11)$$

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left[0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right]} \quad (2.12)$$

b. Ketika $\frac{W_f}{h} \geq 2$

$$W_f = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (2.13)$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.14)$$

Untuk mendapatkan panjang saluran transmisi (L_f) digunakan persamaan berikut[15], yaitu:

$$L_f = \frac{c}{4f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.15)$$

2.7 Parameter Umum Antena Mikrostrip

Parameter antenna merupakan suatu atau beberapa hal yang dinilai untuk mengukur kinerja dari suatu antenna. Beberapa parameter tersebut saling berhubungan satu dengan lainnya. Ada beberapa parameter yang umum dianalisis pada antenna mikrostrip, yaitu:

2.7.1 VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

VSWR adalah perbandingan antara amplitudo dari tegangan maksimum ($|V_{max}|$) dengan minimum ($|V_{min}|$) pada suatu gelombang berdiri (*standing wave*). Gelombang berdiri terjadi diakibatkan oleh tidak sesuainya impedansi antara *input* antenna dengan saluran transmisi sehingga menimbulkan daya refleksi[15].

Pada saluran transmisi terdapat 2 komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan dikirimkan (V_{0+}) dan tegangan yang direfleksikan (V_{0-}). Perbandingan kedua tegangan tersebut disebut dengan koefisien refleksi tegangan dengan persamaan berikut[3]:

$$\Gamma = \frac{V_{0-}}{V_{0+}} = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} \quad (2.16)$$

Keterangan:

- Z_1 = impedansi beban (*load*)
- Z_0 = impedansi saluran *lossless*
- Γ = koefisien refleksi.

Koefisien refleksi tegangan (Γ) memiliki nilai kompleks yang merepresentasikan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi. Ada 3 kasus yang terjadi jika bagian imajiner dari Γ adalah nol[3], yaitu:

1. $\Gamma = -1$, berarti refleksi negatif maksimum ketika saluran terhubung singkat.
2. $\Gamma = 0$, berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matched* sempurna.
3. $\Gamma = +1$, berarti refleksi positif maksimum ketika saluran dalam rangkaian terbuka.

Dengan didapatkan koefisien refleksi tegangan, untuk mendapatkan nilai VSWR digunakan persamaan[15]:

$$VSWR = \frac{|V_{max}|}{|V_{min}|} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.17)$$

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 dengan kondisi tidak ada refleksi dan saluran transmisi dalam keadaan *matching* sempurna[15]. Namun, dalam praktiknya sulit untuk didapatkan sehingga nilai standarnya yaitu $VSWR \leq 2$.

2.7.2 Return Loss

Return loss adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan (V_{0-}) terhadap amplitudo dari gelombang yang dikirimkan (V_{0+}). *Return loss* terjadi akibat adanya diskontinuitas atau tidak sesuainya impedansi antara *input* antenna dengan saluran transmisi, sehingga daya yang diterima menjadi berkurang dibandingkan dengan daya yang dikirimkan. Antena yang baik mempunyai nilai *return loss* di bawah -10 dB dengan 90% sinyalnya diserap dan 10% sinyal dipantulkan. *Return loss* ada kaitannya dengan VSWR sehingga didapatkan persamaan berikut[3, 16-17]:

$$|\Gamma| = \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \quad (2.18)$$

$$\text{Return loss} = 20\log|\Gamma| \quad (2.19)$$

2.7.3 Gain

Gain merupakan parameter yang mengukur kemampuan antenna dalam mengarahkan radiasi sinyal maupun penerimaan sinyal dari arah tertentu[15]. Gain dapat ditentukan secara matematis menggunakan persamaan berikut[5]:

$$\text{Gain} = 4\pi \frac{U_{(\theta,\varphi)}}{P_{in}} \quad (2.20)$$

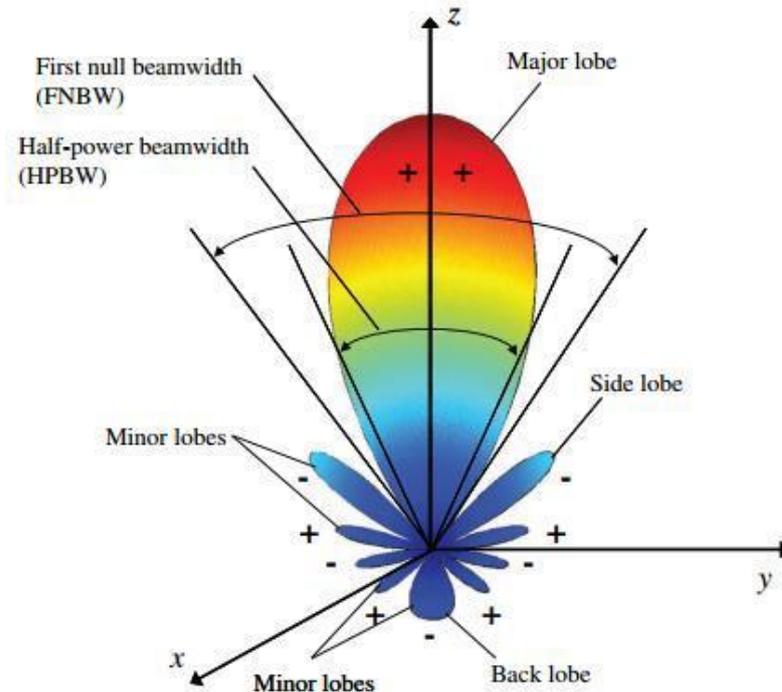
Keterangan:

$U_{(\theta,\varphi)}$ = intensitas radiasi

P_{in} = daya input total diterima

2.7.4 Pola Radiasi

Pola radiasi merupakan gambaran arah dan intensitas radiasi pada antenna. Pola radiasi pada antenna terdiri dari *main lobe* dan *minor lobe*. *Main lobe* merupakan bagian yang memiliki nilai radiasi terbesar dibandingkan dengan *lobe* lainnya. *Main lobe* terdiri dari HPBW (*Half Power Beamwidth*) dan FNBW (*First Null Beamwidth*). HPBW adalah besar sudut ketika intensitas radiasi menjadi setengah dari intensitas maksimalnya (-3 dB). Sedangkan FNBW adalah besar sudut ketika intensitas radiasi menjadi nol. Selanjutnya, *minor lobe* merupakan bagian yang memiliki nilai radiasi yang lebih rendah daripada *main lobe*. *Minor lobe* dikelompokkan menjadi *side lobe* dan *back lobe*. *Side lobe* terdapat pada sisi *main lobe* dan *back lobe* memiliki pancaran radiasi yang bertolak belakang dengan *main lobe*[12]. Pola radiasi dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Pola Radiasi Antena[12]

Berdasarkan bentuk pola radiasi antenna, jenis pola terbagi menjadi 3, yaitu *isotropic*, *omnidirectional*, dan *directional*. *Isotropic* memiliki pola yang memancarkan intensitas radiasi yang sama ke segala arah, sehingga bentuk polanya menyerupai bola. *Omnidirectional* memiliki pola yang memancarkan radiasi dengan maksimum ke segala arah pada satu sisi bidang. *Directional* memiliki pola yang secara efektif memancarkan radiasi pada arah tertentu[12].

2.7.5 Bandwidth

Bandwidth pada antenna didefinisikan sebagai rentang frekuensi kerja, dimana parameter atau karakteristik dari antenna (seperti *VSWR*, *return loss*, *gain*, dan pola radiasi) memiliki nilai atau hasil yang dapat diterima dalam rentang frekuensi tersebut[15].

Bandwidth terbagi dari 2 macam, yaitu *broadband antenna* dan *narrowband antenna*. *Broadband antenna* merupakan perbandingan antara frekuensi tertinggi (f_H) dengan frekuensi terendah (f_L). Sedangkan *narrowband antenna* merupakan nilai persentase dari perbandingan antara selisih frekuensi tertinggi (f_H) dan frekuensi terendah (f_L) terhadap frekuensi tengah atau kerja[2]. Berikut rumus dari masing-masing *bandwidth*, yaitu:

$$\text{Bandwidth}_{\text{broadband}} = f_H - f_L \quad (2.21)$$

$$\text{Bandwidth}_{\text{narrowband}} = \left(\frac{f_H - f_L}{f_r} \right) \times 100\% \quad (2.22)$$

2.8 Pemotongan Substrate

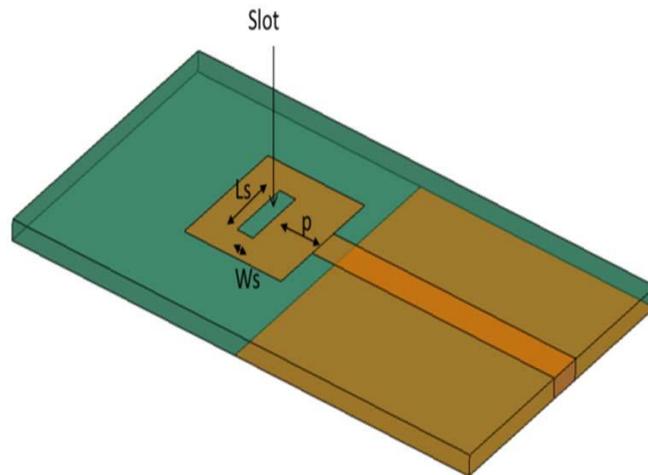
Pemotongan *substrate* dilakukan dengan memotong sebagian dari sisi *substrate* sehingga *substrate* memiliki ukuran dimensi yang sama dengan dimensi *patch* dan panjang pencatu[8]. Contoh bentuk dimensi antenna dengan pemotongan *substrate* dapat dilihat pada Gambar 2.9.



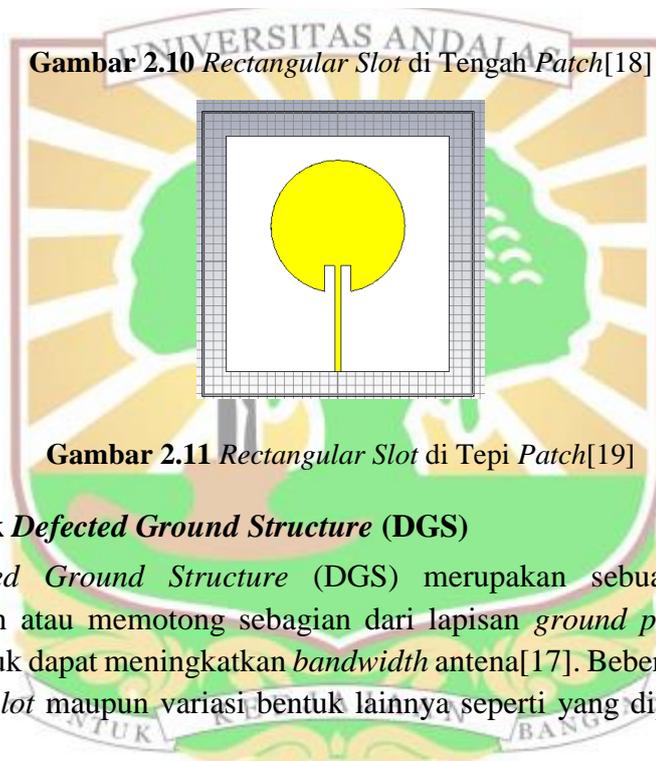
Gambar 2.9 Antena dengan Pemotongan *Substrate*[8]

2.9 Teknik Slot Antenna

Slot antenna merupakan salah satu bentuk modifikasi berupa potongan atau celah pada lapisan logam antenna. Penggunaan *slot* ini dapat meningkatkan *bandwidth* tanpa penambahan volume struktur dari antenna[18]. Salah satu bentuk umum yang digunakan, yaitu *rectangular slot* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.10 dan 2.11.



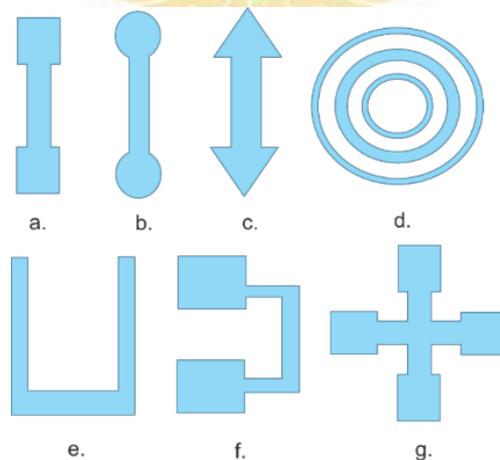
Gambar 2.10 *Rectangular Slot* di Tengah *Patch*[18]



Gambar 2.11 *Rectangular Slot* di Tepi *Patch*[19]

2.10 Teknik *Defected Ground Structure (DGS)*

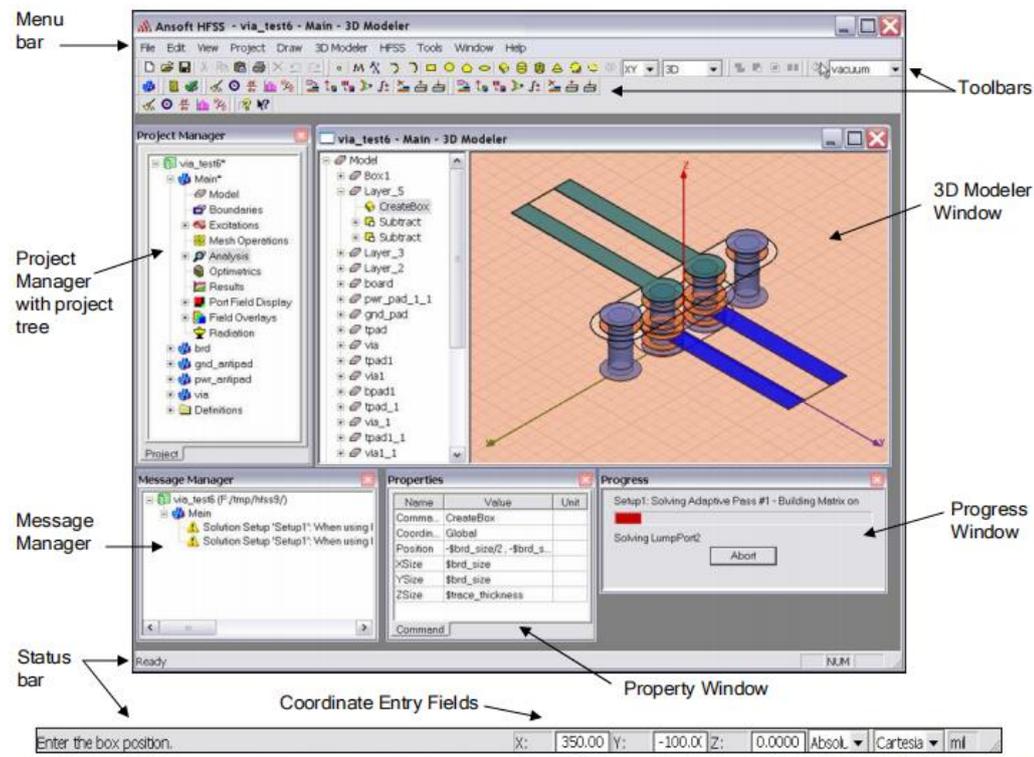
Defected Ground Structure (DGS) merupakan sebuah teknik yang menghilangkan atau memotong sebagian dari lapisan *ground plane*. Teknik ini digunakan untuk dapat meningkatkan *bandwidth* antena[17]. Beberapa bentuk DGS dapat berupa *slot* maupun variasi bentuk lainnya seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Variasi Bentuk DGS[17]

2.11 Ansoft HFSS

Ansoft *High Frequency Structure Simulator* (HFSS) merupakan sebuah perangkat lunak yang dapat digunakan untuk mensimulasikan frekuensi tinggi dan gelombang elektromagnetik pada pemodelan perangkat 3 dimensi yang menggunakan IWM (*Interface Microsoft Windows*). Aplikasi ini memberikan simulasi, pemodelan yang pasti, visualisasi, dan otomatisasi yang mudah dipelajari sehingga solusi terhadap permasalahan rancangan 3D dapat dituntaskan dengan mudah dan akurat. HFSS ini juga memungkinkan penyelesaian rancangan 3D yang memiliki bentuk kurva maupun kompleks dalam waktu singkat dibandingkan dengan teknik lainnya[20].



Gambar 2.13 Tampilan Ansoft HFSS[20]

- Berdasarkan pada Gambar 2.13, terdapat beberapa bagian[20], di antaranya:
1. *Project window* berisi berupa pohon desain yang terdiri dari daftar struktur *project*.
 2. *Message manager*, merupakan sebuah jendela yang memperlihatkan adanya kesalahan maupun peringatan sebelum simulasi dimulai.
 3. *Property window*, merupakan jendela yang menampilkan parameter maupun atribut dan nilainya dapat diubah oleh pengguna.
 4. *Progress window* berupa tampilan simulasi yang sedang diproses.
 5. *3D Modeler window*, berisi berupa model dan daftar model desain yang aktif.