

BAB II

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Pada penelitian [6] mengusulkan desain antenna mikrostrip array 2x1 elemen untuk aplikasi komunikasi 5G pada frekuensi 3.5 GHz. Antena ini dioptimalkan menggunakan teknik *inset* dan *slit*, menghasilkan nilai *return loss* (S11) yang lebih kecil dari -10 dB dan *bandwith* minimal 200 MHz dalam rentang frekuensi 3.4 GHz hingga 3.6 GHz. Dibandingkan dengan antenna elemen tunggal, antenna array 2x1 elemen yang dirancang ini menunjukkan peningkatan *bandwith* dan *gain* yang signifikan, masing-masing sebesar 70.43% dan 66.77%.

Pada penelitian [7] mengeksplorasi optimasi desain antenna mikrostrip dengan menerapkan metode celah Y dan *inset feed*. Implementasi metode celah Y menghasilkan nilai pengembalian kerugian sebesar 45,11%, VSWR 1,296 pada frekuensi 3,5 GHz dan 1,138 pada frekuensi 5 GHz, serta penguatan 6,305 dan 6,786 pada frekuensi 3,5 GHz dan 5 GHz. Dibandingkan dengan desain awal, metode celah Y menunjukkan peningkatan performa VSWR sebesar 21,17%, namun mengalami penurunan penguatan sebesar 8,93%. Penambahan *inset feed* terfokus pada optimasi pengembalian kerugian. Hasilnya, pengembalian kerugian pada frekuensi 5 GHz dioptimalkan secara signifikan, sedangkan pada frekuensi 3,5 GHz hanya menunjukkan sedikit peningkatan. Kombinasi metode celah Y dan *inset feed* menghasilkan nilai pengembalian kerugian 0,39% pada frekuensi 3,5 GHz dan 54,34% pada frekuensi 5 GHz, serta VSWR 0,16% pada frekuensi 3,5 GHz dan 9,4% pada frekuensi 5 GHz.

Pada penelitian [8] membahas perancangan antenna mikrostrip dapat diterapkan untuk memperkuat sinyal WI-FI (*Wireless Fidelity*) dan Jaringan 4G LTE 1800MHz. Antena ini terbuat dari bahan epoxy FR-4 (dua lapis) dengan sifat dielektrik (ϵ_r) 4,3. Dimensinya adalah 2,5 mm untuk ketebalan (h) dan 0,035 mm untuk ketebalan tembaga (t). Perancangan antenna ini telah dihitung dengan panjang *patch* sekitar 40,442 mm, panjang *ground plane* sekitar 50,042 mm, panjang *feed* sekitar 16,25 mm, lebar *patch* sekitar 'sekitar 51,19 mm, lebar *feed*

sekitar 60,79 mm dan antena utama lebar saluran umpan sekitar 1,33 mm. Simulasi menggunakan *software* ANSYS HFSS menunjukkan nilai VSWR sekitar 1,382 dan *gain* sekitar 5,128 dB. Setelah fabrikasi, dilakukan pengukuran menggunakan spektrum analisar di Laboratorium Radar Universitas Indonesia, menunjukkan nilai VSWR sekitar 1,17 dan *gain* sekitar 22,9dB. Antena ini dianggap memenuhi spesifikasi penguat sinyal setelah pengukuran. Kemudian dilakukan pengukuran sebelum dan sesudah penggunaan antena menggunakan *software* Wireshark. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas layanan meningkat pada pagi, siang dan malam hari setelah penggunaan antena mikrostrip pada jaringan WI-FI, dengan *throughput* sekitar 1472. 22 bps, *packet loss* 0%, *latency* 6. 4 ms dan jitter 0. 0,0153 milidetik. Untuk jaringan LTE, *throughputnya* sekitar 1359,24 bps, *packet loss* 0,103%, *latency* 10,1 ms, dan jitter 0,01958 ms.

Pada penelitian [9] membahas tentang desain antena mikrostrip pada frekuensi 2,3 GHz untuk aplikasi 4G/LTE. Studi ini mencakup penggunaan tiga metode dalam perancangan antena tersebut yaitu sudut pemotongan, metode susunan dan penambahan posisi posisi berbentuk U. Metode sudut terpotong adalah. diterapkan untuk membuat polarisasi melingkar antena, sehingga meningkatkan direktivitas. Tujuan penggunaan metode susunan adalah untuk mencapai penguatan maksimum, sekaligus menambahkan *slot* berbentuk U untuk mengurangi vsw, serta memperkecil ukuran antena *patch*.

Pada penelitian [10] membahas tentang perancangan antena mikrostrip *patch* pada frekuensi 3,5 GHz untuk teknologi 5G. Hasil penelitian menunjukan bahwa VSWR sebesar 1,425, pengembalian kerugian, sebesar -15,125 dB, dan pola radiasi dengan penguatan sebesar 3,787 dBi. Hasil ini sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu $VSWR \leq 1,5$ dan pengembalian kerugian -10 dB. Pola radiasi yang dihasilkan adalah direksional atau kearah tertentu saja (direksional). Dengan spesifikasi tersebut, maka antena mikrostrip dapat di implementasikan untuk teknologi 5G.

Penelitian [11] mengusulkan desain antena MIMO mikrostrip yang beroperasi pada dua frekuensi 5G, yaitu 6 GHz dan 28 GHz. Desain ini menggunakan metode MIMO kompak dengan modifikasi dan hanya menggunakan tambalan persegi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa antena

memenuhi spesifikasi yang diinginkan, dengan nilai S-parameter untuk setiap tambalan lebih kecil dari -15 dB.

2.2 DASAR TEORI

Dasar teori adalah rangkaian konsep, prinsip, dan teori yang menjadi dasar atau fondasi dari suatu penelitian. Tujuannya adalah untuk menjelaskan fenomena yang sedang diselidiki, membantu peneliti dalam melakukan penelitian, merumuskan hipotesis, dan memprediksi hasil dari penelitian tersebut. Skripsi ini memiliki judul "Perancangan Antena Mikrostrip *Patch Rectangular* pada Frekuensi *Multi Band* untuk Teknologi WI-FI 7." Penelitian ini didasarkan pada empat teori utama yang menjadi fondasi penelitian, yaitu WI-FI 7, antena mikrostrip *rectangular patch*, metode penelitian (*array log periodic*), dan parameter antena.

2.2.1 Teknologi WI-FI

WI-FI adalah teknologi jaringan nirkabel yang menggunakan gelombang radio untuk menghubungkan berbagai perangkat elektronik ke internet tanpa kabel. Hal ini dapat dicapai melalui penggunaan titik akses WI-FI yang terhubung ke internet melalui koneksi kabel. Titik akses WI-FI mengubah data yang diterima dari internet menjadi gelombang radio. Kemudian, modem atau router WI-FI akan memancarkan kembali gelombang radio tersebut sebagai paket data yang dapat digunakan oleh perangkat seperti komputer, laptop, dan perangkat elektronik lainnya. Perangkat elektronik dapat terhubung ke jaringan lokal dan jaringan internet secara nirkabel selama masih di dalam jangkauan titik akses WI-FI [12]. WI-FI merupakan pilihan konektivitas internet yang paling umum digunakan dikarenakan memberi pengguna akses yang mudah ke jaringan internet [13].

2.2.1.1 Perkembangan Teknologi WI-FI (802.11)

Perkembangan teknologi WI-FI telah merevolusi cara masyarakat berinteraksi di dunia digital. Sejak diperkenalkan pada akhir abad ke-20 (1999), WI-FI telah berkembang dari teknologi yang awalnya digunakan oleh segelintir orang menjadi bagian penting dan integral dalam kehidupan sehari-hari. Dengan

kemampuan WI-FI untuk menyediakan akses internet nirkabel yang cepat dan andal, WI-FI telah memfasilitasi pertumbuhan pesat dalam berbagai bidang, termasuk komunikasi digital, *streaming* video, *gaming*, dan banyak aplikasi lainnya. Berikut adalah sejarah perkembangan teknologi WI-FI mulai dari generasi pertama hingga generasi paling baru [14]:

a. 802.11b

Standar WI-FI 802.11b, yang diluncurkan pada tahun 1999, merupakan salah satu standar WI-FI tertua yang digunakan dan seringkali lebih murah dibandingkan standar WI-FI yang lebih baru. Standar ini menggunakan frekuensi pada 2,4 GHz dan dapat mencapai kecepatan maksimum 11 megabit per detik (Mbps).

b. 802.11a

Dirilis di tahun yang sama dengan 802.11b yaitu 1999, 802.11a merupakan standar WI-FI pertama yang memanfaatkan frekuensi 5 GHz. Fitur utama yang diperkenalkan di 802.11a adalah teknik modulasi OFDM dan kecepatan transmisinya mencapai 54 Mbps. Meskipun memiliki fitur yang lebih baik dibandingkan 802.11b, 802.11a jarang digunakan dikarenakan harganya yang mahal.

c. 802.11g

Diluncurkan pada tahun 2003, standar WI-FI 802.11g membuka babak baru dalam dunia konektivitas nirkabel. Beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz, standar ini menghadirkan kecepatan data yang jauh lebih tinggi, mencapai 54 Mbps, dibandingkan dengan standar sebelumnya. Kecepatan ini setara dengan standar 802.11a yang beroperasi pada frekuensi 5 GHz yang lebih tinggi. Dikembangkan oleh IEEE 802.11, standar 802.11g merupakan penyempurnaan dari standar sebelumnya, terutama 802.11b. Keunggulan utama 802.11g terletak pada penggunaan teknik modulasi OFDM yang lebih canggih. Selain itu, standar ini juga kompatibel dengan jaringan 802.11b, sehingga perangkat yang lebih tua masih dapat terhubung ke jaringan WI-FI 802.11g.

d. 802.11n

Dirilis pada tahun 2009, WI-FI 802.11n menandai era baru dalam konektivitas nirkabel, dengan cepat menjadi standar dominan di jaringan WI-FI.

Standar ini menawarkan beberapa keunggulan signifikan dibandingkan pendahulunya. Kecepatan yang dapat dicapai oleh 802.11n bervariasi antara 65 hingga 600 Mbps. Selain itu, standar ini menggunakan teknik modulasi OFDM dan mendukung kompatibilitas dengan semua standar 802.11 sebelumnya. Terdapat tiga inovasi utama yang diperkenalkan oleh 802.11n yaitu MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), *channel bonding*, dan *frame aggregation*.

e. 802.11ac

Dirilis pada tahun 2013, standar ini menggunakan pita frekuensi 5 GHz. Meskipun kecepatannya secara teoritis bisa mencapai 3.5 Gbps, namun pada kenyataannya tidak pernah melampaui 1 Gbps dikarenakan banyak faktor seperti, jarak perangkat elektronik dari *router*, jumlah perangkat elektronik yang terhubung, dan kemampuan antena perangkat elektronik dalam menangkap sinyal WI-FI. Inovasi teknologi utama adalah *multi-user* MIMO (MU-MIMO), yang memungkinkan 802.11ac mengirimkan data ke beberapa perangkat secara bersamaan [14].

f. 802.11ax

Diluncurkan pada tahun 2019, 802.11ax merupakan peningkatan besar dibandingkan 802.11n dengan penambahan banyak fitur baru. Fitur utama yang diperkenalkan pada 802.11ax adalah OFDMA. Pada OFDMA lebar pita frekuensi dibagi menjadi subkanal yang lebih kecil, sehingga memungkinkan transmisi data simultan dari beberapa pengguna dalam satu waktu, bukan hanya untuk satu *frame* atau satu komunikasi. Ini meningkatkan efisiensi dan kapasitas jaringan. Selain itu, konsep *target wake time* juga diperkenalkan dalam standar ini sebagai fitur efisiensi hemat daya [15].

g. 802.11be

Dirilis pada tahun 2024 sebagai penerus dari 802.11ax, 802.11be atau lebih dikenal sebagai WI-FI 7, difokuskan pada peningkatan *throughput* dalam jaringan nirkabel. Banyak fitur baru yang diperkenalkan di WI-FI 7 seperti 4096-QAM, saluran lebar 320 MHz, dan *multi-link operation* (MLO). WI-FI 7 berpotensi untuk meningkatkan *throughput* dan mengurangi latensi dalam jaringan WI-FI lebih baik dibandingkan 802.11ax [16]. Peningkatan pada WI-FI 7 jika dibandingkan dengan WI-FI 6 dapat dijelaskan sebagai berikut [17]:

- a. Lebar saluran maksimum pada WI-FI 7 adalah 320 MHz, sedangkan pada WI-FI 6 hanya 160 MHz.
- b. WI-FI 7 menggunakan urutan modulasi tertinggi 4096-QAM, sedangkan WI-FI 6 hanya memiliki 1024-QAM.
- c. WI-FI 7 menggunakan alokasi sumber daya *multi-RU*, sedangkan WI-FI 6 menggunakan *single-RU*.
- d. Kecepatan data maksimum pada WI-FI 7 mencapai 46,1 Gb/s, sedangkan pada WI-FI 6 hanya 9,6 Gb/s [17].

2.2.1.2 Teknologi WI-FI 7

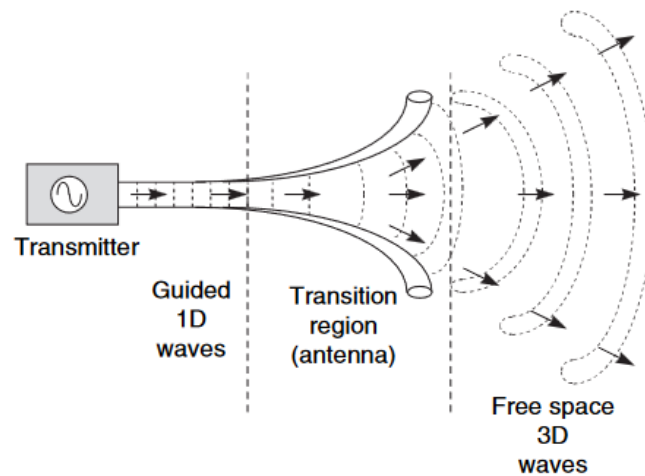
WI-FI 7 siap menghadirkan revolusi dalam konektivitas nirkabel dengan menghadirkan peningkatan yang besar dalam kecepatan data, latensi, dan efisiensi. Sebagai standar nirkabel terbaru, standar ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan yang semakin besar akan konektivitas yang lebih cepat dan andal baik untuk aplikasi konsumen maupun industri. Salah satu fitur utama dari WI-FI 7 adalah peningkatan yang signifikan dalam kecepatan maksimumnya yaitu 46.1 Gbps. Ini adalah peningkatan yang sangat besar dari kecepatan maksimum WI-FI 6E sebesar 9,6 Gbps [18].

Fitur utama lain dari WI-FI 7 adalah *multi-link operation* (mlo). Melalui mlo, titik akses dan stasiun dapat mengirim dan menerima data dari aliran lalu lintas yang sama pada frekuensi radio yang berbeda. Pendekatan ini secara signifikan mengurangi latensi, memberikan pengalaman pengguna yang lancar dan berkualitas tinggi, terutama untuk aplikasi yang membutuhkan respons cepat seperti *game online* dan komunikasi *real-time* [19].

2.2.2 Antena

Antena menjadi komponen esensial dalam komunikasi tanpa kabel yang menghubungkan pengguna dan memungkinkan pertukaran informasi secara nirkabel. Kemampuannya untuk mengirimkan dan menerima sinyal, serta memfokuskan arah komunikasi, menjadikannya elemen kunci dalam teknologi nirkabel modern [20]. Antena bekerja dengan prinsip dasar yaitu mengubah sinyal masukan menjadi sinyal elektromagnetik yang dapat dipancarkan (*transmitter*)

dan mengubahnya kembali menjadi bentuk asli saat diterima (*receiver*). Gambar 2.1 mengilustrasikan bagaimana medan yang terperangkap dalam saluran transmisi bergerak menuju antenna dalam satu dimensi, kemudian diubah menjadi gelombang yang merambat, yang membawa daya dari pemancar ke ruang bebas dalam tiga dimensi. Desain antenna dibuat sedemikian rupa agar proses ini berjalan seefisien mungkin. Tujuannya adalah untuk memancarkan sebanyak mungkin energi dari pemancar ke arah yang diinginkan, terutama ke arah penerima. Jadi, antenna membantu memastikan bahwa komunikasi dapat terjadi secara efisien dan efektif [21].



Gambar 2.1 Antena berfungsi sebagai area transisi antara gelombang terpandu dan gelombang yang merambat [21]

2.2.3 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip adalah sebuah konduktor metal tipis yang diletakkan di atas substrat dielektrik, berfungsi untuk mengirimkan dan menerima gelombang elektromagnetik. Antena ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti jaringan nirkabel, radar, dan satelit, karena memiliki desain yang kompak, murah, dan mudah dibuat. Keunggulan antena mikrostrip adalah ukurannya yang kecil namun tetap mampu memancarkan dan menerima sinyal dengan baik. Dengan berbagai variasi bentuk dan ukuran, antena mikrostrip telah dikembangkan untuk menghasilkan kinerja yang beragam. Antena mikrostrip terdiri dari tiga lapisan utama, di mana setiap lapisan memiliki peran krusial dalam operasi antena

tersebut. Struktur ini dapat dilihat pada Gambar 2.2. Berikut adalah lapisan-lapisannya [22]:

1. *Patch*

Bagian atas antenna terbuat dari bahan konduktif, yang bertugas memancarkan gelombang elektromagnetik ke udara. *Patch* ini bisa memiliki bentuk lingkaran, persegi panjang, atau segitiga.

2. Substrat

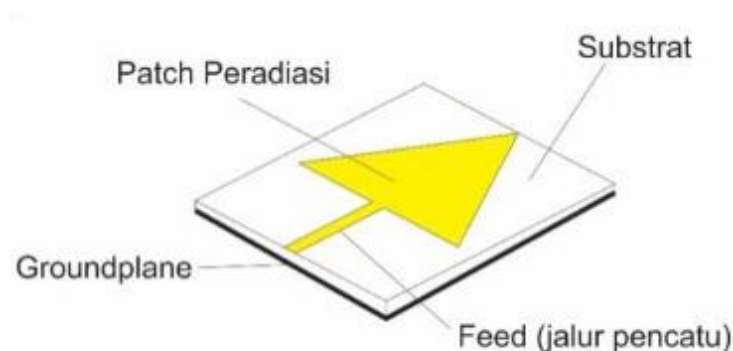
Substrat berperan sebagai medium penghantar gelombang elektromagnetik dari sistem pencatutan, dan karakteristik substrat memiliki pengaruh besar terhadap parameter-parameter antenna. Ketebalan substrat secara signifikan memengaruhi lebar pita (*bandwith*) antenna.

3. *Groundplane*

Groundplane adalah permukaan konduktif yang terhubung ke tanah secara elektrik. *groundplane* berfungsi sebagai bidang referensi untuk gelombang elektromagnetik yang dipancarkan dan diterima oleh antenna.

4. *Feed*

Merupakan saluran penghubung dari sistem pencatutan ke *patch* peradiasi. *Feed* berperan penting dalam mengirimkan sinyal ke *patch* untuk dipancarkan.



Gambar 2.2 Struktur antenna mikrostrip [22]

2.2.3.1 Model dan Aplikasi Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip bervariasi dalam bentuknya, termasuk kotak, lingkaran, segitiga, setengah lingkaran, sektoral, dan annular. Antena mikrostrip sangat populer karena ukuran yang kompak, portabilitas, biaya rendah, dan kemudahan

dalam pembuatan dan integrasi dengan perangkat RF. Oleh karena itu, antena mikrostrip sangat cocok untuk digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti sistem komunikasi nirkabel, telepon seluler, radar, dan sistem komunikasi satelit [20].

2.2.3.2 Kelebihan dan Kekurangan Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip menawarkan kelebihan dibandingkan antena lain, seperti:

- Desain ramping: Memungkinkan antena untuk disesuaikan dengan perangkat utama.
- Ringan dan kecil: Ideal untuk aplikasi portabel dan ruang terbatas.
- *Dual-band*: Dapat bekerja pada dua frekuensi secara bersamaan.

Akan tetapi, antena mikrostrip juga mempunyai kekurangan, yaitu:

- Efisiensi rendah: Kinerja radiasinya tidak seoptimal antena lain.
- *Bandwidth* terbatas: Rentang frekuensi yang dapat dipancarkan lebih sempit.
- Pola radiasi tidak murni: Kualitas sinyal yang dipancarkan tidak sejernih antena lain [24].

2.2.4 Antena Mikrostrip *Rectangular patch*

Antena mikrostrip *rectangular patch* adalah antena yang terbuat dari konduktor logam berbentuk persegi panjang yang dicetak pada permukaan substrat dielektrik. Salah satu kelebihan dari *rectangular patch* ini adalah kemampuannya untuk mencapai *gain* yang tinggi. Bagian utama dari antena mikrostrip adalah *patch*, yang ditempatkan di lapisan atas. Dibawah lapisan *patch*, terdapat dua lapisan yaitu lapisan substrat dan lapisan *groundplane* yang berfungsi sebagai elemen listrik. Persamaan untuk menentukan dimensi *patch* dan *groundplane* atau substrat antena mikrostrip *rectangular patch* dapat dilihat pada persamaan (2. 1) sampai dengan (2. 7) [21].

$$w_p = \frac{c}{2fc} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.1)$$

Sebelum menentukan nilai panjang *patch*, maka diperlukan nilai konstanta dielektrik efektif (ϵ_{eff}) dan nilai efek medan tepi pada *patch* (ΔL).

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12h_s/w_p}} \right) \quad (2.2)$$

$$\Delta L = 0,412h_s \frac{(\epsilon_{\text{eff}} + 0,3) \left(\frac{w_p}{h_s} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{\text{eff}} - 0,258) \left(\frac{w_p}{h_s} + 0,813 \right)} \quad (2.3)$$

$$L_{\text{eff}} = \frac{c}{2fc\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \quad (2.4)$$

$$L_p = L_{\text{eff}} - 2\Delta L \quad (2.5)$$

Persamaan (2.6) dan (2.7) digunakan untuk menentukan lebar dan panjang substrat atau *groundplane* [25].

$$Lg = 2L_p \quad (2.6)$$

$$Wg = 2w_p \quad (2.7)$$

Keterangan:

C : Kecepatan gelombang elektromagnetik (3×10^8 m/s)

Fc : Frekuensi tengah (Hz)

ϵ_r : Konstanta dielektrik substrat

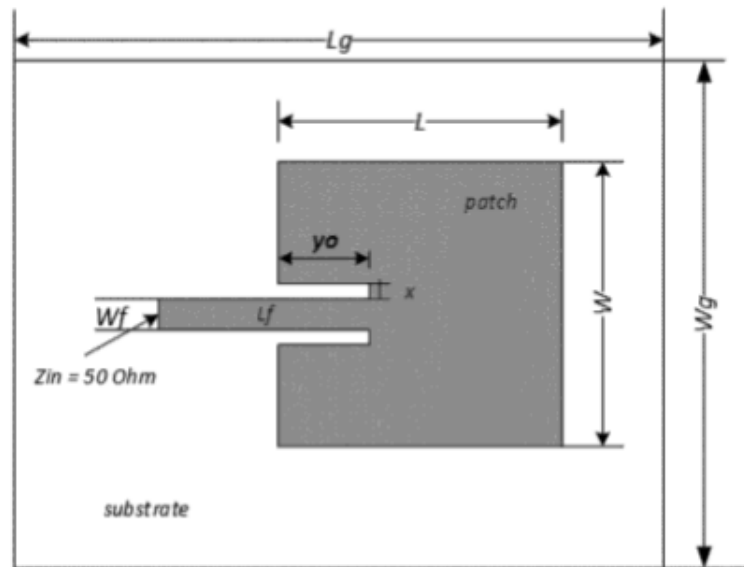
h_s : Tebal/tinggi substrat (mm)

2.2.5 Pencatuan *Inset Feed*

Fungsi pencatu (*feed*) pada antenna mikrostrip *rectangular patch* adalah untuk mentransmisikan energi *Radio Frequency* (RF) dari saluran transmisi ke antenna. Dalam upaya meningkatkan *bandwidth*, *gain*, pola radiasi, polarisasi, dan parameter lainnya, berbagai metode dan teknik pencatu telah dikembangkan untuk antenna mikrostrip *rectangular patch* mikrostrip. Salah satu teknik tersebut adalah metode pencatuan *inset feed*, yang tergambar pada Gambar 2.3. Teknik ini digunakan dalam desain antenna, khususnya pada antenna mikrostrip *patch* persegi panjang, untuk mengatur impedansi saluran tanpa perlu menggunakan elemen penyesuai tambahan. Dengan metode ini, distribusi arus pada *patch* akan disesuaikan berdasarkan lokasi titik pencatuan. Ketika titik pencatuan berada di tepi *patch*, arus tersebar merata di seluruh *patch*, menghasilkan impedansi yang lebih tinggi. Namun, ketika titik pencatuan bergerak menuju pusat *patch*, arus

menjadi lebih terkonsentrasi di sekitar titik pencatuan, menyebabkan penurunan impedansi secara proporsional [22].

Perubahan dalam distribusi arus pada *patch* menyebabkan variasi dalam impedansi antenna. Pada titik tengah *patch*, impedansinya mencapai nol. Untuk mencapai impedansi antenna sebesar 50 ohm, jarak *feed point* dari tepi *patch* perlu disesuaikan. Jika impedansi terminal antenna adalah 50 ohm, maka impedansi saluran mikrostrip dari terminal masukan ke *patch* antenna harus sama. Selain itu, ada celah antara saluran transmisi yang memasuki *patch* antenna dengan *patch* antenna itu sendiri, yang biasanya sekitar 1 atau 2 mm.



Gambar 2.3 Pencatuan dengan metode *inset feed* [26]

Persamaan untuk menghitung jarak *inset feed* dari tepi *patch* dalam hal konstanta dielektrik $2 \leq \epsilon_r \leq 10$ adalah menggunakan formula yang disesuaikan oleh Ramesh, di mana formula tersebut dikalikan dengan faktor koreksi $S = 0,83477$ [26].

$$y_0 = (S)x \left[\frac{L}{2} \times 10^{-4} (0,001699\epsilon_r^7 + 0,13761\epsilon_r^6 - 6,1783\epsilon_r^5 + 93,187\epsilon_r^4 - 682,69\epsilon_r^3 + 2561,9\epsilon_r^2 - 4043\epsilon_r + 6697) \right] \quad (2.8)$$

Keterangan:

- ϵ_r : Konstanta dielektrik
 L : Panjang *patch* (mm)

2.2.6 Pencatuan *Microstrip Line*

Pencatuan *microstrip line* adalah jalur pengumpan yang terletak dalam lapisan yang sama dengan elemen radiasi antena. Biasanya, jalur pengumpan ini memiliki lebar yang lebih kecil dibandingkan dengan elemen radiasi. Untuk menghitung panjang jalur mikrostrip (L_f) menggunakan persamaan (2.9). Gambar 2.4 menunjukkan ilustrasi dari *microstrip line*. [27].

$$L_f = \frac{1}{4} \lambda_g \quad (2.9)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.10)$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (2.11)$$

Di mana λ merupakan panjang gelombang dan ϵ_{eff} merupakan nilai konstanta dielektrik efektif yang nilainya bergantung pada material pada substrat antena mikrostrip. Selanjutnya, untuk menentukan lebar jalur mikrostrip dibutuhkan nilai medan magnetik (B) menggunakan persamaan (2.9).

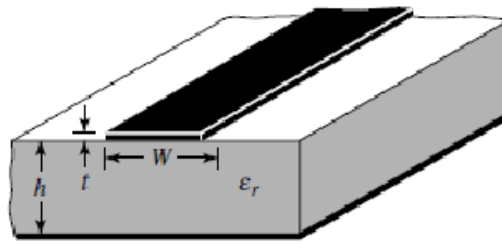
$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.12)$$

Setelah menghitung nilai medan magnetik (B), maka dapat dicari nilai lebar *microstrip feed-line* (W_f) dengan persamaan berikut ini [27]:

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

Keterangan:

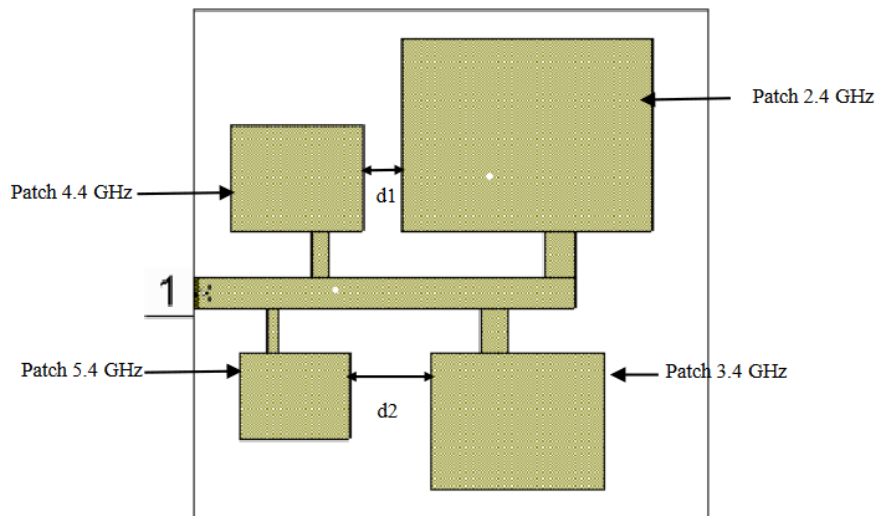
- λ_0 : Panjang gelombang di udara bebas (m)
 λ_g : Panjang gelombang pada bahan dielektrik
 f : Frekuensi kerja (Hz)
 ϵ_r : Konstanta dielektrik
 Z_0 : Impedansi karakteristik saluran transmisi (Ω)
 B : Medan magnetik
 C : Kecepatan gelombang elektromagnetik (3×10^8 m/s)



Gambar 2.4 *Microstrip line* [27]

2.2.7 Metode *Array log periodic*

Metode *array log periodic* melibatkan penggunaan *patch* atau dimensi antenna dengan rasio frekuensi kerja yang berurutan dari tinggi ke rendah secara periodik. Antena-antena ini disusun sejajar dan dihubungkan melalui saluran pencatu dengan jarak tertentu untuk mengurangi interferensi. Dimensi setiap *patch* disesuaikan dengan frekuensi kerja yang diinginkan. Penyusunan *patch* dalam *array log periodic* dapat dilihat pada Gambar 2.5 [28].



Gambar 2.5 Penyusunan *patch* secara *array log periodic* [28]

2.2.8 Paramater Antena

Parameter-parameter antena menggambarkan kinerja dan karakteristik operasionalnya dalam sistem komunikasi nirkabel. Penjelasan mengenai parameter antena dapat dilihat sebagai berikut:

a. *Gain*

Penguatan antenna dalam suatu arah didefinisikan sebagai rasio intensitas radiasi dalam arah tersebut terhadap intensitas radiasi isotropik yang akan terjadi jika daya yang diterima oleh antenna diradiasikan secara merata ke segala arah. Intensitas radiasi isotropik setara dengan daya yang diterima oleh antenna (*input*) dibagi oleh 4π . Dalam bentuk persamaan, konsep ini dapat dijelaskan sebagai

$$Gain = 4\pi \frac{\text{intensitas radiasi}}{\text{total daya masukan (diterima)}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \text{ (tak berdimensi)} \quad (2.18)$$

Keterangan:

4π : Faktor normalisasi

$U(\theta, \phi)$: Intensitas radiasi antenna ke arah tertentu

P_{in} : Total daya yang diterima antenna

Dalam banyak situasi, ini mengacu pada penguatan daya relatif, yang didefinisikan sebagai rasio antara penguatan daya dalam arah tertentu dari antenna yang sedang diteliti dan penguatan daya dari antenna referensi dalam arah yang sama. Daya masukan untuk kedua antenna harus setara. Antenna referensi sering kali merupakan jenis antenna seperti dipol, *horn*, atau jenis lain yang penguatannya dapat diketahui atau dihitung sebelumnya. Dalam kebanyakan kasus, antenna referensi dianggap sebagai sumber isotropik tanpa kehilangan, yang dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan:

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}(\text{sumber isotropis tanpa kerugian})} \text{ (tak berdimensi)} \quad (2.19)$$

Keterangan:

$U(\theta, \phi)$: Intensitas radiasi antenna ke arah tertentu

P_{in} : Total daya yang diterima antenna

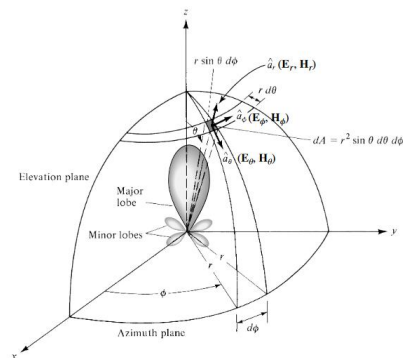
Biasanya, jika arah spesifik tidak diindikasikan, penguatan daya diukur dalam arah di mana radiasi maksimum terjadi [29].

b. *Bandwith*

Bandwith adalah jangkauan frekuensi di sekitar nilai tengah yang mencakup berbagai karakteristik antena seperti impedansi input, bentuk fisik, lebar pola radiasi, polarisasi, tingkat *side lobe*, *gain*, arah radiasi, dan efisiensi radiasi, yang semuanya harus memenuhi standar yang dapat diterima. Nilai yang diterima dibandingkan dengan nilai frekuensi pusat. Untuk antena dengan rentang frekuensi lebar, *bandwith* biasanya diukur sebagai rasio frekuensi atas dan bawah dari rentang operasi yang diizinkan. Sebagai contoh, jika *bandwithnya* 10:1, artinya frekuensi yang lebih tinggi adalah sepuluh kali lipat frekuensi yang lebih rendah. Untuk antena dengan rentang frekuensi sempit, *bandwith* dinyatakan sebagai persentase perbedaan antara frekuensi tinggi dan rendah dibagi dengan frekuensi tengah *bandwith*. Misalnya, *bandwith* 5 berarti perbedaan frekuensi operasi yang diperbolehkan adalah 5% dari frekuensi tengah *bandwith* [29].

c. Pola radiasi

Pola radiasi antena adalah penggambaran distribusi energi elektromagnetik yang dipancarkan oleh antena di ruang angkasa. Pola ini menunjukkan kekuatan sinyal di berbagai arah dari antena, membantu menentukan efektivitas dan jangkauan antena. Bentuk pola radiasi dipengaruhi oleh desain antena, frekuensi operasi, dan lingkungan di sekitarnya. Gambar 2.6 menunjukkan sebuah set koordinat yang nyaman untuk melihat pola ini. Pola medan amplitudo merujuk pada jejak medan listrik (atau magnetik) yang diterima pada radius konstan. Sementara itu, pola daya amplitudo adalah grafik yang menunjukkan variasi kepadatan daya sepanjang radius konstan. Kedua pola ini memberikan gambaran tentang bagaimana energi dipancarkan oleh antena [29].



Gambar 2.6 Sistem koordinat yang digunakan untuk menganalisis antena [29]

Pola radiasi pada antena dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama, yaitu [23]:

a. Pola radiasi isotropis

Pola radiasi isotropis adalah pola ideal antena yang memancarkan energi elektromagnetik secara merata ke semua arah. Intensitas radiasinya sama di semua titik pada jarak yang sama dari sumber. Gambaran sederhananya seperti bola lampu yang memancarkan cahaya dengan intensitas sama di semua sisi. Pola radiasi isotropis memiliki karakteristik yaitu:

1. Distribusi daya seragam: Antena isotropis memancarkan daya yang sama kuat ke semua titik pada permukaan bola imajiner yang berpusat pada antena.
2. Tidak memiliki arah utama: Tidak ada arah tertentu yang lebih disukai untuk pemancaran energi.
3. *Gain* nol dB: Karena energi tersebar secara merata, antena isotropis memiliki *gain* nol dB, yang merupakan titik referensi untuk menghitung *gain* antena lainnya.

b. Pola radiasi *omnidirectional*

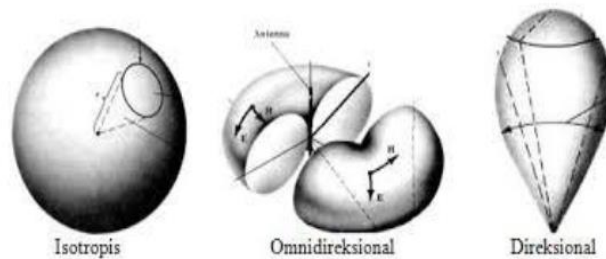
Pola radiasi omnidireksional pada antena mengacu pada penyebaran energi elektromagnetik yang merata secara horizontal di sekitar antena. Dengan kata lain, antena memancarkan sinyal dengan kekuatan yang sama ke segala arah pada bidang datar, mirip seperti donat. Pola radiasi omnidireksional memiliki karakteristik yaitu:

1. Pemancaran seragam: Antena memancarkan sinyal dengan kekuatan yang sama ke semua arah dalam bidang horizontal.
2. Tidak memiliki arah utama: Tidak ada arah tertentu yang memiliki intensitas sinyal lebih tinggi daripada yang lain.
3. Bentuk pola radiasi: Biasanya berbentuk lingkaran atau cincin ketika dilihat dari atas.

c. Pola radiasi *directional*

Pola radiasi direksional menggambarkan sebuah antena yang memancarkan energi elektromagnetik terutama ke arah tertentu. Ini berarti antena tersebut memiliki satu atau lebih "lobus" radiasi yang lebih kuat dibandingkan dengan arah lainnya. Pola radiasi direksional memiliki karakteristik yaitu:

1. Pemancaran terfokus: Energi dipancarkan dengan intensitas yang lebih tinggi ke arah tertentu.
2. Arah utama: Arah dengan intensitas radiasi maksimum disebut arah utama.
3. Lobus samping: Selain arah utama, terdapat lobus-lobus samping dengan intensitas radiasi yang lebih rendah. Pola radiasi antenna dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Pola radiasi antenna [30]

d. VSWR

VSWR adalah besaran yang mengukur efisiensi transmisi gelombang radio dalam sistem transmisi, seperti dari pemancar ke antenna. VSWR mengindikasikan seberapa baik saluran transmisi menyesuaikan impedansi antenna dengan sumber daya, di mana nilai optimalnya adalah 1 ($S=1$), menunjukkan tidak adanya pantulan kembali jika saluran mencapai pencocokan sempurna. Namun, dalam praktiknya, mencapai nilai ini sangat sulit, sehingga dalam industri pembuatan antenna, standar yang diterima adalah $VSWR \leq 2$ [31].

e. *Return loss*

Return loss adalah besaran yang menunjukkan seberapa baik kesesuaian impedansi antara antenna dan saluran transmisi. Nilai *return loss* yang tinggi (banyak daya terserap) menunjukkan transfer daya yang efisien, sedangkan nilai yang rendah (banyak daya terpantul) menandakan ketidakcocokan impedansi dan berkurangnya daya yang terpancar. Dalam konteks memastikan nilai rasio gelombang berdiri ($VSWR$) ≤ 2 , *return loss* yang diinginkan adalah ≤ -10 dB. Pada nilai ini, energi yang dipantulkan tidak lebih besar dari energi yang ditransmisikan, menunjukkan bahwa saluran transmisi berfungsi secara efisien [31].