

BAB II DASAR TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Pada penelitian [6], meneliti tentang Hasil dari perancangan dan pembuatan antenna MIMO 4x4 Berupa susunan dua elemen mikrostrip patch berbentuk lingkaran pada frekuensi 15 GHz telah dilakukan. Antena yang telah direncanakan untuk disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) dan kemudian dilakukan pembuatan secara industri dengan memakai bahan substrat Duroid 5880. Hasil pemodelan dari rancangan pada antenna menunjukkan koefisien pemantulan dengan nilai keluaran sebesar -22,557 dB, VSWR dengan nilai sebesar 1,161, dan mutual *coupling* dengan nilai sebesar -40,525 dB. Selain itu, kapasitas pita antenna mencapai 1,482 GHz, kemudian pada *gain* antenna menyentuh nilai sebesar 9,69 dB pada tingkat frekuensi resonansi 15 GHz. Dimensi Antena yang diimplementasikan adalah 40x60,64 mm. Setelah antenna direalisasikan dan diukur, didapatkan hasil pengukuran terbaik dengan koefisien pemantulan sebesar -26,87 dB, VSWR dengan nilai sebesar 1,095, dan *bandwidth* dengan nilai sebesar 1,26 GHz. Selain itu, *gain* antenna mencapai 14,39 dB pada tingkat frekuensi kerja 15 GHz. Dari hasil perancangan, simulasi, dan realisasi antenna, terlihat bahwa antenna telah mengalami peningkatan kinerja dari segi koefisien refleksi yang lebih baik, VSWR yang lebih rendah, *bandwidth* yang lebih lebar, dan *gain* yang lebih tinggi pada frekuensi kerja 15 GHz [6].

Pada penelitian [7], merancang sebuah antenna mikrostrip *array* menggunakan metode konfigurasi 4x2 yang tersusun secara *planar*, dengan menggunakan *patch* yang berbentuk *rectangular*, dan berfokus pada frekuensi 5G yaitu 3,5 GHz. Antenna mikrostrip tersebut akan diterapkan menggunakan metode *array* dengan konfigurasi 4x2 dan dioperasikan pada frekuensi 3,5 GHz khusus untuk aplikasi 5G. Untuk perancangan ini, material dielektrik yang digunakan adalah FR4 *epoxy* dengan konstanta dielektrik sebesar 4,6. Beberapa parameter yang dihasilkan dari antenna yang dirancang adalah sebagai berikut: Frekuensi kerja antenna mencakup

rentang 3,45 GHz hingga 3,65 GHz dengan tingkat frekuensi tengah pada 3,55 GHz, *Return loss* yang diperoleh sebesar 20,813264 dB, menunjukkan tingkat pantulan yang rendah, Nilai VSWR adalah 1,2003699, menunjukkan kualitas impedansi antenna yang baik, *Bandwidth* antenna sebesar 123,3 MHz, mengindikasikan kemampuan untuk mendukung sejumlah besar data dalam jaringan 5G, *Gain* antenna adalah 10,4 dB, menandakan antenna ini memiliki daya pancar yang kuat, Pola radiasi antenna adalah *unidireksional*, artinya pola radiasi mengarah secara spesifik dalam satu arah tertentu, yang sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan komunikasi *point-to-point* atau dalam satu arah. Perancangan antenna ini memiliki parameter-parameter yang sesuai dengan aplikasi 5G dan dapat berfungsi secara efisien dalam jaringan komunikasi modern [7].

Pada penelitian [8], memaparkan perancangan antenna mikrostrip dengan konfigurasi 1x8 yang telah diwujudkan pada tingkat frekuensi 28 GHz, khusus pada aplikasi 5G. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan beberapa keluaran parameter antenna sebagai berikut: *return loss* dengan nilai sebesar -21,6251 dB, VSWR dengan nilai sebesar 1,1809, impedansi dengan nilai sebesar $74,196\Omega$, serta bandwidth dengan nilai sebesar 0,8579 GHz dalam kisaran frekuensi 27,4962 GHz hingga 28,3541 GHz. Antena ini menunjukkan tingkat *return loss* yang rendah, VSWR yang baik, dan memiliki impedansi yang sesuai dengan aplikasi 5G pada frekuensi 28 GHz. Lebar pita (*bandwidth*) antenna yang mencapai 0,8579 GHz memungkinkan untuk mentransfer sejumlah besar data dalam jaringan 5G pada rentang frekuensi yang telah ditentukan. Perancangan antenna ini dapat memberikan solusi yang efisien dan dapat diandalkan dalam mendukung aplikasi teknologi 5G yang membutuhkan frekuensi tinggi seperti pada 28 GHz [8].

Pada penelitian [9] mengulas tentang perancangan antenna mikrostrip MIMO yang diimplementasikan dalam sistem komunikasi 5G, bekerja pada frekuensi band N40 (2.3–2.4 GHz) dengan frekuensi tengah 2.35 GHz. Keunikan antenna ini terletak pada fokusnya pada *mutual coupling* dan korelasi antara elemen-elemen MIMO. Penggunaan konfigurasi MIMO dipilih karena dapat memenuhi kebutuhan tingginya data transmisi pada sistem komunikasi 5G. Struktur antenna terdiri dari *patch* berbentuk persegi dengan penerapan teknik pencatutan mikrostrip *insert feed*-

line. Substrat yang digunakan adalah material FR-4 dengan nilai konstanta dielektrik sebesar 4.3. Setelah proses perancangan, antenna dirancang dicetak dan kemudian diukur dengan menggunakan perangkat *Vector Network Analyzer* (VNA). Hasil pengukuran menunjukkan return loss sebesar -11.24 dB dan *bandwidth* sebesar 80 MHz pada frekuensi tengah 2.35 GHz. Dalam analisis *mutual coupling* antar elemen, susunan MIMO 2x2 dengan polarisasi tak seragam menunjukkan hasil terbaik dengan nilai gegangan (*coupling*) yang kurang dari -20 dB untuk semua elemen. Hasil pengukuran antenna ini menunjukkan konsistensi dengan hasil simulasi yang sebelumnya telah dilakukan. Dengan demikian, antenna mikrostrip MIMO ini diharapkan dapat menjadi solusi yang efektif dalam meningkatkan kinerja sistem komunikasi 5G dengan mengatasi masalah *mutual coupling* dan memperbaiki korelasi antara elemen-elemen MIMO untuk mendukung transmisi data yang lebih cepat dan handal. [9].

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Karakteristik sistem 5G

5G memanfaatkan solusi teknologi baru untuk memenuhi kebutuhan pengguna yang terus meningkat. Hasilnya, sistem baru ini akan mampu menangani semakin banyak perangkat, dan untuk memenuhi ambang batas kualitas yang lebih tinggi yang dibutuhkan oleh aplikasi modern. Ini adalah evolusi jaringan 4G saat ini, yang menggabungkan teknologi yang mampu menangani jumlah data yang ditransmisikan yang meningkat pesat dan memfasilitasi pertukaran data antara perangkat IoT yang jumlahnya terus bertambah. Seperti biasa untuk pengenalan jaringan generasi berikutnya, diharapkan hingga jangkauan dan fungsinya dapat menyamai atau melampaui jaringan 4G yang ada. Skenario penggunaan baru pertama adalah peningkatan *broadband* seluler, *enhanced mobile broadband* (eMBB), yang memungkinkan akses internet berkecepatan tinggi (hingga 1 Gbps) dan akan menjadi fitur penentu jaringan ini dibandingkan dengan jaringan yang ada, terutama pada tahap awal penerapannya. Keunggulan sistem 5G dibandingkan solusi lama ini akan meningkatkan efisiensi dan kualitas komunikasi di

masyarakat. Sebagai contoh, ini akan memungkinkan layanan berdasarkan penyediaan multimedia beresolusi tinggi, metode komunikasi yang menarik (misalnya, video, *augmented reality* dan virtual), serta layanan kota pintar (misalnya, transmisi konten dari kamera beresolusi tinggi) [10].

2.2.2. Teknologi Yang Mempengaruhi 5G

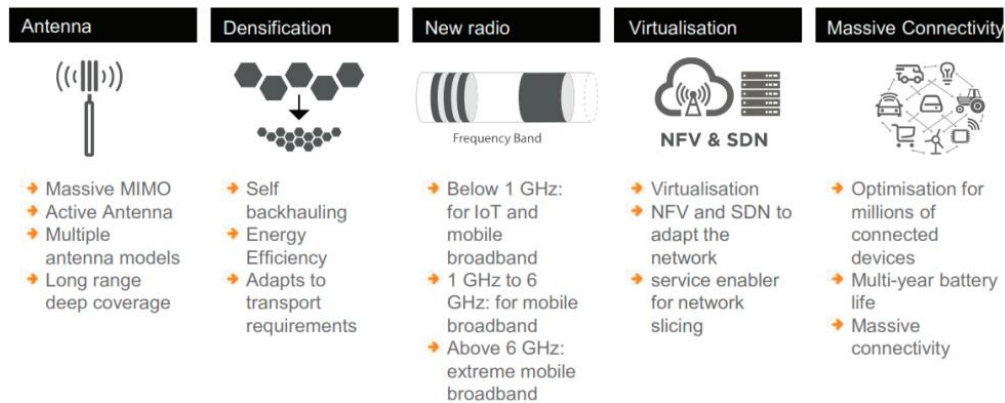
Sejak konsep teknologi 5G ditemukan, banyak pihak telah melakukan penelitian terkait pemilihan frekuensi yang akan digunakan dalam teknologi telekomunikasi nirkabel 5G. Menurut Pusat Penelitian dan Pengembangan (PUSLITBANG) dalam studi lanjutan mengenai 5G di Indonesia, 3GPP telah berhasil menyelesaikan dan menyempurnakan spesifikasi untuk teknologi 5G *New Radio* (NR) dalam mode *non-standalone* (NSA). Rilis standar 5G ini membuka peluang bagi vendor dan pelaku industri untuk mulai mengembangkan chipset berdasarkan standar tersebut. Arsitektur *non-standalone* (NSA) 5G NR direncanakan akan memanfaatkan antarmuka teknologi *Long Term Evolution* (LTE) dan *New Radio* (NR), serta jaringan inti *Long Term Evolution* (LTE) yang sudah ada. Hal ini menandakan bahwa perkembangan teknologi 5G sedang berlangsung, dan upaya untuk mengadopsi serta mengimplementasikan standar ini sedang berlangsung, membuka peluang bagi para pelaku industri untuk terlibat dalam pengembangan teknologi 5G yang lebih maju di masa depan. Adapun spesifikasi teknis umum yang diterapkan pada *non-standalone* (NSA) 5G *New Radio* (NR) pada tahun 2015 pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Spesifikasi Umum NSA 5G NR [11].

Parameter	Nilai
<i>Latency in the air link</i>	<1ms
<i>Latency end-to-end (device to core)</i>	<10ms
Target mobilitas	500km/h
<i>Area capacity density</i>	1 juta perangkat/km ² dalam lingkungan urban

Parameter	Nilai
<i>System spectral efficiency</i>	10bit/s/Hz/cell
<i>Peak throughput (downlink) per connection</i>	30bps/YHz untuk DL dan 15bps/Hz untuk UL
<i>Energy efficiency</i>	>90% lebih baik terhadap LTE

Dalam memenuhi parameter dari tabel 2.1. membutuhkan antenna diantaranya antenna *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO) dan *massive* MIMO dalam mentransmiskannya. Berikut pada Gambar 2.1 merupakan teknologi yang akan mempengaruhi telekomunikasi 5G di Indonesia



Gambar 2.1 Teknologi Yang Digunakan Pada Telekomunikasi 5G [11].

Menurut *Global mobile Suppliers Association* (GSA) yang diantaranya terdapat dari perusahaan Ericsson, Huawei, dan Qualcomm, berpendapat bahwa dalam skema 5G membutuhkan antenna seperti antenna *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO), antenna *beam-forming* dalam mentransmisikannya, kemudian harus mengubah skema algoritma *multiplexing*, pengkodean skema, dan skema jaringan yang baru juga. Berikut pada Gambar 2.1 merupakan teknologi yang akan mempengaruhi telekomunikasi 5G di Indonesia.

2.2.3. Pembagian 3 Lapisan Frekuensi 5G

Dalam rangka memberikan Pelayanan berkualitas tinggi untuk pengguna, telah disiapkan dengan tiga lapisan (*layer*) frekuensi, berupa *lower band*, *middle band*, serta *high band*. Spektrum frekuensi *lower band* diperkirakan untuk menempati spektrum frekuensi 800 MHz, yang saat ini

masih dalam penggunaan oleh operator untuk layanan teknologi *Global System for Mobile Communications* (GSM), dan sebagian di antaranya digunakan untuk teknologi *4G Long Term Evolution* (LTE) 900.

Pilihan kedua adalah mengimplementasikan jaringan 5G pada spektrum frekuensi *middle band* yang beroperasi di rentang frekuensi 2.6 GHz hingga 3.5 GHz. Saat ini, spektrum frekuensi tersebut masih dalam penggunaan untuk jaringan satelit. Untuk menerapkan jaringan 5G pada spektrum frekuensi *middle band*, pemerintahan harus melakukan penggeseran (*re-farming*) teknologi satelit yang saat ini memanfaatkan pita frekuensi tersebut. Dengan demikian, pita frekuensi dapat dialokasikan untuk jaringan 5G, memungkinkan penggunaan teknologi 5G pada rentang frekuensi yang telah ditentukan.

Pilihan ketiga sebagai opsi untuk penggunaan teknologi 5G adalah pada pita frekuensi *High band*. Frekuensi *High band* ini berkerja pada rentang frekuensi 26 GHz. Pada saat ini, spektrum frekuensi 26 GHz telah tersedia dan belum digunakan untuk teknologi lain. Frekuensi 26 GHz termasuk dalam rekomendasi frekuensi tambahan oleh *International Telecommunication Union* (ITU), yang mencakup rentang frekuensi 24 GHz, 25 GHz, hingga 28 GHz. Penggunaan frekuensi *High band* ini memungkinkan penyediaan pita frekuensi yang lebar pada gelombang centimeters, sehingga implementasi teknologi 5G pada pita ini dapat memberikan kecepatan yang maksimal [12]. Pada Tabel 2.2 menampilkan Band 5G, Bandwidth, dan referensi frekuensi.

Tabel 2. 2 Ketentuan Referensi Frekuensi dan Bandwidth [13]

5G Band	Referensi Frekuensi (GHz)	Bandwidth (MHz)
N41	2.6	100
N78	3.5	100
N258	26	1000
N257	28	4500

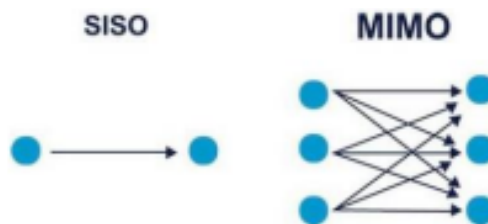
Dalam tabel 2.2, informasi yang diberikan berfokus pada beberapa pita frekuensi (N41, N78, N258, dan N257) dalam jaringan 5G, serta referensi frekuensi dan lebar pita yang terkait dengan masing-masing pita tersebut.

2.2.4. MIMO

Multiple Input Multiple Output atau MIMO adalah sebuah teknologi multiantena yang digunakan pada Perangkat transmisi dan penerimaan. Dengan menggunakan MIMO, teknologi ini mampu mengurangi efek *multipath fading* menggunakan multi-antena bagian yang terdapat pada alat penerima dan pemancar. Metode MIMO juga memberikan peningkatan daya tampung yang signifikan, sehingga sistem berjalan lebih efisien dibandingkan dengan sistem *Single Input Single Output* (SISO), di mana data yang identik dapat dikirim dan diterima melalui beberapa antena secara bersamaan. [2].

2.2.5. Massive MIMO

Massive MIMO adalah teknologi MIMO yang ditandai dengan jumlah terminal yang jauh lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah antena pada mobile station. Dengan menerapkan teknologi Massive MIMO, kapasitas jaringan dapat meningkat hingga 15 kali lipat, dan efisiensi energi radiasi dapat ditingkatkan hingga 100 kali lipat. Peningkatan efisiensi energi ini didukung oleh penggunaan jumlah antena yang besar. Gambar 2.2 di bawah ini menunjukkan ilustrasi metode mimo menggunakan beberapa antena pemancar.



Gambar 2.2 Teknik MIMO.

Pada Gambar 2.2 terlihat prinsip dari MIMO adalah membagi deretan simbol yang akan dikirim menjadi beberapa deretan simbol paralel, yang selanjutnya ditransmisikan secara simultan dengan menggunakan *bandwidth* yang sama [3].

2.2.6. Antena

Antena merupakan salah satu alat yang dipergunakan untuk mentransmisikan gelombang elektromagnetik, dan frekuensi operasinya dapat bervariasi tergantung pada aplikasinya. Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin maju, berbagai jenis antena telah dikembangkan untuk memenuhi tuntutan tersebut. Satu di antara banyak jenis antena yang umum digunakan adalah antena mikrostrip. Antena mikrostrip mempunyai dimensi yang kecil, sehingga bentuk dan ukurannya menjadi lebih sederhana, biayanya lebih terjangkau, dan kinerjanya juga cukup baik. Oleh karena itu, antena mikrostrip sering dipilih untuk berbagai aplikasi. Walaupun antena mikrostrip memiliki banyak keunggulan, seperti ukurannya yang kecil dan biaya yang terjangkau, namun terdapat beberapa kelemahan, diantaranya *bandwidth* yang terbatas, *gain* (penguatan) yang rendah, dan efektivitas yang kurang optimal. Namun, ada beberapa cara untuk mengatasi kekurangan tersebut. Salah satu pendekatannya adalah dengan mengubah konstanta dielektrik pada substrat yang digunakan, mengubah desain patch pada antena, atau bahkan menambahkan lebih banyak *patch* pada substrat untuk membentuk suatu *array* antena. Dengan melakukan modifikasi ini, diharapkan antena mikrostrip dapat meningkatkan kinerjanya dan sesuai dengan kebutuhan aplikasi yang lebih kompleks dan canggih [1].

2.2.7. Antena Array

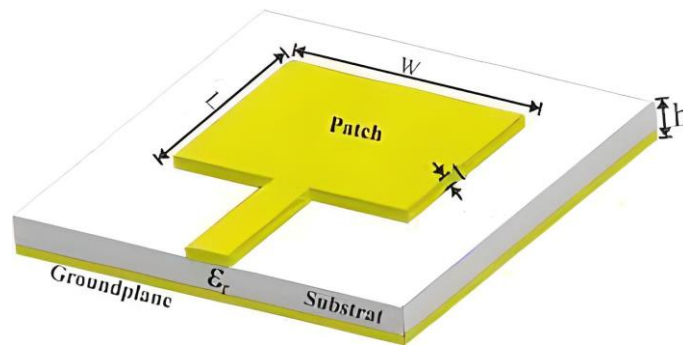
Antena merupakan perangkat logam yang berfungsi untuk mengirim atau menerima gelombang radio. Ada berbagai jenis tipe antena, seperti antena *wire*, antena *aperture*, antena mikrostrip, antena *array*, antena *horn*, antena *reflector*, dan antena lensa. Antena *array* merupakan kumpulan antena yang terdiri dari N elemen, dengan $N \geq 2$. Performa antena *array* dapat dilihat dari peningkatan jumlah elemen yang ada dalam antena *array* tersebut. Semakin banyak elemen pada antena *array*, semakin baik performanya [14].

2.2.8. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip adalah salah satu jenis antena yang banyak digunakan dalam aplikasi sistem komunikasi saat ini. Pemilihan antena mikrostrip dikarenakan memiliki beberapa kelebihan, seperti ukuran fisik yang kompak, profil yang sederhana, dan mudah difabrikasi. Namun, antena mikrostrip juga memiliki beberapa kelemahan, seperti *bandwidth* yang terbatas, *gain* (penguatan) yang terbatas, dan efisiensi yang rendah. Untuk mengatasi kelemahan tersebut, telah dikembangkan berbagai teknik, salah satunya adalah menggunakan *patch slot* berbentuk U. Teknik ini bertujuan untuk memperluas bandwidth dengan meningkatkan kopling induktif dan mengurangi faktor Q (*quality factor*) dari antena. Dengan menggunakan *patch slot* berbentuk U, diharapkan performa antena mikrostrip dapat ditingkatkan dengan lebih baik, sehingga mengatasi batasan pada *bandwidth*, *gain*, dan efisiensi yang biasa terjadi pada antena mikrostrip [15].

Antena mikrostrip adalah antena yang terdiri atas elemen radiasi (*patch*) yang sangat tipis yang dilakukan *ground plane*, dimana antara bidang dengan elemen radiasi (*patch*) dipisahkan oleh substrat dielektrik. Pengembangan antena mikrostrip berawal dari ide dasar bagaimana menggunakan *printed circuit technology* tidak hanya untuk komponen rangkaian dan saluran transmisi pada sistem elektronika, tapi bisa juga digunakan sebagai elemen peradiasi [16].

Antena mikrostrip pertama kali diperkenalkan pada tahun 1950, dan pengembangannya secara serius dimulai pada tahun 1970. Selama beberapa dekade penelitian, telah terbukti bahwa kinerja antena mikrostrip sangat dipengaruhi oleh geometrinya. Seiring dengan perkembangan teknologi, antena mikrostrip telah menjadi salah satu jenis antena yang paling populer saat ini. Popularitasnya disebabkan oleh kecocokannya dengan peralatan telekomunikasi, terutama karena antena mikrostrip sangat sesuai untuk kasus di mana bentuk dan ukuran antena harus dipertimbangkan dengan cermat.



Gambar 2.3 Bentuk Umum Antena Microstrip [1].

Gambar 2.3 menggambarkan suatu antena mikrostrip standar yang terdiri dari dua lapisan konduktor paralel yang dipisahkan oleh lapisan dielektrik yang dikenal sebagai substrat. Dalam konfigurasi ini, lapisan konduktif bagian atas, yang sering disebut sebagai "tambalan" atau bisa disebut juga "*patch*," berperan sebagai tempat sumber radiasi. Energi elektromagnetik dipancarkan melalui tambalan dan bergerak sepanjang tepi tambalan ke dalam substrat. Di sisi lain, lapisan konduktif bagian bawah bertindak sebagai bidang dasar yang sepenuhnya reflektif. Fungsi dari lapisan ini adalah memantulkan kembali energi elektromagnetik melalui substrat sehingga energi tersebut dapat dipancarkan kembali ke atmosfer.

Radiasi medan pada antena mikrostrip terutama terjadi pada bidang propagasi antara tepi tambalan dan bidang dasar. Untuk mendapatkan kinerja antena yang optimal, diinginkan ketebalan lapisan dielektrik yang memiliki konstanta dielektrik yang rendah. Dengan menggunakan lapisan dielektrik yang memiliki konstanta dielektrik yang rendah, antena dapat mencapai efisiensi yang lebih baik, bandwidth yang lebih lebar, dan radiasi yang lebih baik. Namun, perlu dicatat bahwa penggunaan konstanta dielektrik rendah ini juga dapat menyebabkan ukuran antena menjadi lebih besar. Sebaliknya, pada konfigurasi antena mikrostrip yang simetris, seringkali diperlukan penggunaan konstanta dielektrik yang lebih tinggi. Penggunaan konstanta dielektrik yang lebih tinggi ini dapat mengurangi efisiensi antena dan mempersempit *bandwidth* yang dapat dicapai oleh antena tersebut [1].

Dalam susunan ini, setiap lapisan mikrostrip memiliki fungsi yang berbeda. *Patch* berperan sebagai peradiasi gelombang elektromagnetik,

memungkinkan gelombang untuk merambat sepanjang tepi masuk dan masuk ke dalam substrat. Substrat, juga dikenal sebagai medium dielektrik, biasanya memiliki nilai epsilon r (konstanta dielektrik relatif) yang berbeda-beda tergantung pada bahan yang digunakan, dan nilai ini memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik antenna yang dihasilkan. Sementara itu, lapisan *ground* bertindak sebagai bidang pemantulan sempurna, memantulkan kembali energi melalui substrat menuju ke udara bebas [2].

Antena mikrostrip adalah jenis antenna berbentuk papan tipis yang memiliki kemampuan untuk bekerja pada frekuensi sangat tinggi. Antena mikrostrip dibentuk menggunakan substrat yang terdiri dari tiga elemen dasar, yaitu peradiasi (radiator), elemen substrat, dan elemen pentanahan (*ground*) [17].

Antena mikrostrip terdiri dari tiga lapisan elemen, yaitu *patch*, substrat, dan *groundplane*, sebagaimana yang terlihat pada gambar 2.3. Komposisi lapisan pada antenna mikrostrip adalah sebagai berikut:

a) *Patch*

Patch adalah elemen antenna mikrostrip yang terletak di lapisan paling atas. Fungsinya adalah untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik dan memungkinkan gelombang tersebut menyebar ke dalam substrat.

b) Substrat

Substrat adalah lapisan tengah yang menjadi perantara antara elemen *patch* dan *groundplane* pada antenna mikrostrip. Substrat ini terdiri dari bahan dielektrik dengan nilai permitivitas relatif (konstanta dielektrik relatif). Ketika substrat semakin tebal dan nilai konstanta dielektriknya semakin rendah, semakin besar pula *bandwidth* yang dapat dihasilkan oleh antenna. Pada antenna mikrostrip, bahan dielektrik yang menjadi substrat biasanya memiliki nilai konstanta dielektrik relatif yang berkisar antara $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$.

c) *Groundplane*

Groundplane adalah komponen antenna mikrostrip yang berada pada lapisan terbawah. Fungsinya adalah sebagai reflektor yang berperan memantulkan

sinyal interferensi. Untuk mengukur panjang dan lebar minimal *groundplane* (L_g dan w_g), dapat menggunakan persamaan tertentu [7].

$$L_s = L_g = 2L_p \quad (2.1)$$

$$W_s = W_g = 2W_p \quad (2.2)$$

Keterangan:

L_g : Panjang *Groundplane*

w_g : Lebar *Groundplane*

L_p : Panjang *Pacth*

w_p : Lebar *patch*

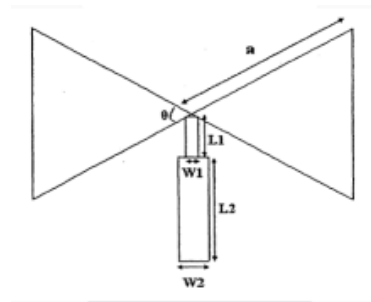
2.2.9. Antena Mikrostrip Array

Antena *array* umumnya terdiri dari beberapa elemen peradiasi yang disusun dalam sebuah geometri dengan metode tertentu untuk mencapai pola radiasi yang diinginkan. Tujuan utama dari membuat konfigurasi *array* adalah untuk meningkatkan efisiensi, direktivitas, *bandwidth*, dan *gain* dari antena. Dari segi besar arus catuan, antena *array* dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu *uniform* dan *non-uniform*. Susunan *uniform* memiliki besar arus yang sama baik dalam magnitudo maupun fase untuk setiap elemen. Hal ini menyebabkan antena memiliki karakteristik *narrow main beam* (pusat pola radiasi yang tajam) dan *side lobe* (daerah sekitar pusat pola) yang besar. Di sisi lain, susunan *non-uniform* memiliki besar arus catuan yang berbeda-beda pada tiap elemen, sehingga memberikan kontribusi level *side lobe* yang lebih kecil [7].

2.2.10. Antena Mikrostrip Bowtie

Antena berperan sebagai perangkat yang memfasilitasi Perubahan antara gelombang terbimbing dan Gelombang ruang terbuka, atau sebaliknya. Daya listrik dari pemancar mengalami transisi menjadi gelombang elektromagnetik dan ditransmisikan oleh sebuah antena melalui udara bebas. Pada akhir perjalanannya, gelombang elektromagnetik tersebut dikonversi kembali menjadi energi listrik oleh antena penerima yang berfungsi untuk tujuan

tersebut. Ada berbagai jenis antena, salah satunya adalah antena mikrostrip. Antena mikrostrip terdiri dari potongan konduktor logam dan terdiri dari tiga elemen dasar: *patch*, substrat dielektrik, dan *ground plane*. *Patch* berada di atas lapisan substrat, sementara *ground plane* terletak di bawahnya. Salah satu tipe *patch* yang umum digunakan untuk memperluas rentang frekuensi adalah *patch bowtie* yang terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Bentuk Antena Patch Bowtie [18]

Gambar 2.4 adalah Antena mikrostrip dengan *patch* segitiga memiliki rentang frekuensi yang lebih lebar dibandingkan dengan *patch* rectangular. Demikian pula, antena *patch* bowtie memiliki spektrum frekuensi yang lebih luas daripada antena *patch* rectangular dengan panjang yang sama [18].

2.2.11. Antena Mikrostrip Circular

Antena mikrostrip berbentuk *patch* lingkaran memiliki kinerja yang setara dengan antena mikrostrip berbentuk segiempat. Dengan menggunakan teknik *array*, antena *patch* lingkaran memberikan keuntungan lebih dibandingkan dengan *patch* lainnya. Selain itu, antena ini mudah dimodifikasi untuk mendapatkan nilai impedansi, pola radiasi, dan frekuensi kerja yang diinginkan [19].

2.2.12. Antena mikrostrip Tringular

Triangular *Patch* adalah salah satu bentuk *patch* yang digunakan dalam perancangan antena mikrostrip yang sudah ada sebelumnya. Keistimewaan dari bentuk *patch* segitiga ini adalah memiliki karakteristik radiasi yang seragam dan merata di seluruh area *patch* [20].

2.2.13. Antena Mikrostrip Patch

Antena mikrostrip *patch* adalah jenis antena yang terdiri dari tiga komponen utama, yaitu *patch*, substrat, dan *ground plane*. *Patch* merupakan bagian paling luar dan teratas dari antena yang berperan untuk memancarkan sinyal gelombang radio. Umumnya, *patch* dibuat dari material konduktor seperti tembaga. Bentuk *patch* dapat beragam, termasuk rectangular, circular *ring*, dan *u-slot*. Substrat adalah bagian antena yang berperan sebagai media untuk mengalirkan gelombang elektromagnetik dari sumber energi catuan (*feed*) ke *patch*. Karakteristik pada substrat memiliki dampak besar pada performa antena, dan ketebalan substrat dapat mempengaruhi *bandwidth* antena. *Ground plane* adalah bagian terakhir dari antena dan berfungsi sebagai ground atau tanah dari antena, yang membantu dalam meradiasikan gelombang elektromagnetik secara efisien [14].

2.2.14. Antena Mikrostrip Patch Rectangular

Patch berbentuk persegi panjang adalah bentuk yang paling umum digunakan dan mudah untuk dianalisis dalam perancangan antena mikrostrip. Berikut adalah beberapa kalkulasi yang dipakai dalam perancangan antena mikrostrip dengan bentuk persegi panjang.

Kalkulasi Lebar *patch* (W_p):

$$W_p = \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{\epsilon_{r+1}}{2}} \quad (2.3)$$

$$L_p = L_{eff} - 2(\Delta L) \quad (2.4)$$

Keterangan:

c = Konstanta kecepatan cahaya, yaitu sebesar 3×10^8 m/s

f Merupakan frekuensi operasional dari antena yang diinginkan (Hz)

ϵ_r Merupakan konstanta dielektrik yang terdapat pada bahan substrat

ϵ_{reff} adalah konstanta dielektrik efektif [3].

Di mana c merupakan kecepatan cahaya di ruang bebas, yaitu sebesar 3×10^8 m/s, f adalah frekuensi operasi dari antenna yang diinginkan (Hz), dan ϵ_r adalah konstanta dielektrik dari bahan substrat. Untuk menentukan panjang *patch*, kita juga memerlukan parameter ΔL yang mengacu pada pertambahan panjang *patch* akibat efek *fringing* (dalam satuan mm). Efek *fringing field* terjadi ketika elemen radiasi tampak lebih melebar daripada dimensi pada mulanya. Hal ini disebabkan oleh sifat konduktor pada saluran mikrostrip yang tidak sepenuhnya bersifat *perfectly magnetic conducting*, sehingga medan elektromagnetik yang timbul tidak sepenuhnya tegak lurus terhadap *patch* maupun *ground plane*. Pertambahan panjang ΔL dihitung berdasarkan rumus yang telah dikemukakan oleh Gusman pada tahun 2014.

Perhitungan pertambahan panjang dari ΔL :

$$\Delta L = 0.412h_s \frac{(\epsilon_{reff}+0,3) \left(\frac{W}{h}+0,264\right)}{(\epsilon_{reff}-0,258) \left(\frac{W}{h}+0,8\right)} \quad (2.5)$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f\sqrt{(\epsilon_{reff})}} \quad (2.6)$$

Dimana h_s merupakan ketebalan substrat dan ϵ_{reff} adalah konstanta dielektrik efektif yang berdasarkan rumus yang telah dikemukakan oleh Gusman pada tahun 2014:

Perhitungan Konstanta dielektrik efektif:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left(1 + 12 \frac{h_s}{w_p}\right)^{-\frac{1}{2}}, \frac{w_p}{h_s} \geq 1 \quad (2.7)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left(\left(1 + 12 \frac{h_s}{w_p}\right)^{-\frac{1}{2}} + 0,04\left(1 - \frac{w_p}{h_s}\right)^2\right), \frac{w_p}{h_s} < 1 \quad (2.8)$$

Keterangan:

w_p adalah Lebar *Patch*

L_p : Panjang *Pacth*

h_s merupakan ketebalan substrat

ϵ_r adalah konstanta dielektrik dari bahan substrat

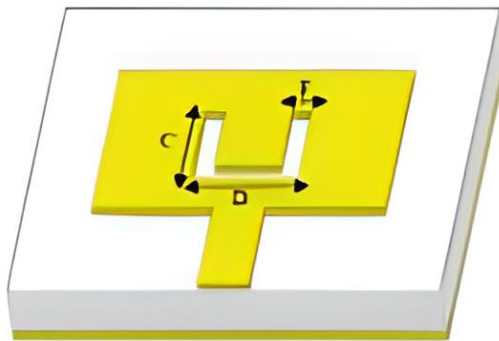
ϵ_{reff} adalah konstanta dielektrik efektif [3].

2.2.15. Teknik Pencatuan Mikrostrip

Cara pencatuan antenna memiliki dampak pada impedansi masukan dan atribut antenna. Teknik ini bertujuan untuk mentransfer tenaga dari satu titik ke titik lainnya. Pada antenna mikrostrip, pemilihan teknik pencatuan sangat penting dalam proses perencanaan. Untuk antenna mikrostrip berbentuk segiempat, terdapat beberapa metode pencatuan yang dapat digunakan, yaitu *probe koaksial* secara langsung atau menggunakan *microstrip line*. Dalam pembuatan antenna, digunakan teknik pencatuan berbasis *microstrip line* [3].

2.2.16. U-Slot

Metode *u-slot* adalah teknik yang dijalankan dengan cara memotong atau menghilangkan sebagian *patch* antenna mikrostrip menjadi berbentuk huruf U. Dimensi *u-slot* meliputi lebar *slot* (F), panjang *slot* vertikal (C), dan panjang *slot* horizontal (D). Dengan menggunakan *u-slot*, perubahan geometri ini dapat memberikan efek yang diinginkan pada karakteristik radiasi dan kinerja antenna, seperti memperluas *bandwidth*, meningkatkan efisiensi, atau mengurangi efek *mutual coupling* antara elemen antenna [21].



Gambar 2.5 Dimensi U-Slot [21]

Selanjutnya, untuk menghitung ukuran *U-slot* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus atau perhitungan tertentu yaitu, persamaan (2.9) sampai dengan (2.11).

$$F = \frac{\lambda}{60} = \frac{c}{f \times 60} \quad (2.9)$$

$$C \geq 0,3W_p \quad (2.10)$$

$$D = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2(L_p + \Delta L - F) \quad (2.11)$$

Keterangan:

λ = Panjang gelombang

c = Kecepatan Cahaya

w_p adalah Lebar *Patch*

L_p : Panjang *Pacth*

ϵ_{reff} adalah konstanta dielektrik efektif

f Merupakan frekuensi operasional dari antena yang diinginkan (Hz)

ΔL = Pertambahan Panjang *patch*

2.2.17. Defected Ground Structure

Defected Ground Structure bisa juga disebut sebagai struktur tanah termodifikasi merupakan istilah untuk dipergunakan pada pola lubang geometri kecil yang ditanam pada rangkaian substrat. DGS dapat mengandung satu atau beberapa kesalahan yang teratur dan berulang. Oleh karena itu, DGS merujuk pada cacat periodik yang terukir pada rangkaian substrat [22].

Defected Ground Structure (DGS) merupakanh istilah yang digunakan untuk merujuk pada suatu teknik atau metode dalam perancangan antena mikrostrip. DGS bekerja dengan mencacatkan atau memotong bagian bidang *ground plane* pada substrat antena mikrostrip. Tujuan dari DGS adalah untuk mencapai efek tertentu, seperti menekan gelombang permukaan yang tidak diinginkan, mengurangi efek *mutual coupling* antara elemen antena, atau meningkatkan kinerja *bandwidth* antena. Dengan menggunakan DGS, karakteristik radiasi antena mikrostrip dapat ditingkatkan dengan mengubah distribusi arus dan tegangan pada bidang *ground plane* serta mengontrol propagasi gelombang elektromagnetik [23].

2.2.18. Saluran transmisi

Pencatuan mikrostrip *feed line* adalah teknik penyaluran sinyal yang terletak Pada bidang sejajar dengan elemen radiasi dalam antena mikrostrip.

Secara umum, *feed line* mempunyai ukuran lebih kecil lebarnya dibandingkan elemen radiasi. Untuk menghitung panjang jalur saluran mikrostrip, L_f , menggunakan persamaan (2.11) [24].

$$L_f = \frac{\frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}}{4} = \frac{c}{4f\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.12)$$

λ merupakan panjang frekuensi. Selanjutnya, lebar saluran mikrostrip dapat ditentukan dengan menghitung menggunakan persamaan (2.12) atau (2.13), [24]

$$w_f = \frac{2h_2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right) \right], \frac{w_f}{h_s} > 2 \quad (2.13)$$

$$w_f = h_s \left(\frac{8e^{-A}}{e^{2A} - 2} \right), \frac{w_s}{h_s} \quad (2.14)$$

Dimana:

$$A = \frac{z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left[0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right] \quad (2.15)$$

$$B = \frac{60\pi^2}{z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.16)$$

Keterangan:

w_f adalah nilai lebar saluran pencatu

z_0 adalah nilai impedansi masukan

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.17)$$

$$d = \frac{\lambda}{2} \quad (2.18)$$

2.2.19. Mutual Coupling

Mutual coupling merupakan fenomena interferensi yang terjadi pada antenna array, yang dimana adanya interaksi antara elemen-elemen antenna yang berdekatan menyebabkan timbulnya tegangan pada satu elemen antenna karena adanya arus pada komponen antenna lainnya. Gelombang permukaan menjadi salah satu faktor penyebabnya. Semakin pendek jarak antara komponen-komponen antenna, Efek pengaruh interferensi akan semakin meningkat.

Meskipun diperlukan jarak yang optimal antar elemen antena untuk menghindari efek *mutual coupling*, namun ada batasan dalam mengurangi jarak antara elemen untuk meminimalkan ukuran antena, dengan catatan tetap memastikan bahwa efek *mutual coupling* tetap berada di bawah -20 dB [25].