

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Dalam penelitian “Perancangan dan Fabrikasi Antena *Array* 3x3 untuk Radar Cuaca pada Frekuensi X-Band”, perlu adanya penelitian sebelumnya untuk menghindari yang namanya duplikasi ataupun plagiarisme. Berikut beberapa kajian pustaka dari penelitian sebelumnya yang selaras dengan penelitian saat ini.

Pada penelitian [9] membahas tentang perancangan antenna menggunakan penerapan antenna *array* 2x2 untuk membuat polarisasi ganda (*vertical* dan *horizontal*) agar dapat diaplikasikan pada radar cuaca. Perancangan antenna menggunakan bahan duroid 4003 yang bekerja pada frekuensi kerja 9,4 GHz. Hasil pengukuran yang didapat pada *bandwidth* diatas 60 MHz yang dimana *port* 1 sebesar 63 MHz dan *port* 2 sebesar 65 MHz. nilai *VSWR* pada *port* 1 sebesar 1,287 dan untuk *port* 2 sebesar 1,2829. *Return loss* pada antenna ini di *port* 1 bernilai -17,201 dan pada *port* 2 sebesar -17,99 dengan polarisasi pada *port* 1 mengarah dengan *vertical linier* dan *port* 2 mengarah ke *horizontal linier*. Pada penelitian ini memiliki persamaan yang dimana menggunakan antenna mikrostrip pada radar cuaca berfrekuensi X-band dengan metode *array*. Namun yang membedakannya ialah antenna ini masih menggunakan *array* 2x2 yang dimana penggunaan antenna *array* 2x2 masih mendapatkan nilai *gain* yang rendah. Pada penelitian ini pula maka didapatkan untuk dapat peningkatan di parameter *gain*nya dengan menggunakan *array* 3x3.

Pada penelitian [10] menggunakan desain antenna mikrostrip yang bekerja pada frekuensi 9,4 GHz dengan menggunakan metode *Wilkinson Power Divider* (WPD) serta digabungkan dengan teknik *array* untuk mendapatkan nilai parameter *gain* yang tinggi. Rancangan desain yang digunakan ada 4 yaitu *single patch*, *array* 1x2, 4x4, dan 8x4 dengan teknik pencatuan *insert feed* dan *coaxial*. Antena didesain menggunakan bahan FR-4 dan Rogers RT-5880. Parameter yang dianalisis pada penelitian ini terdiri dari *gain*, *VSWR*,

return loss, *bandwidth* dan pola radiasi. Nilai pada parameter $VSWR < 2$, *return loss* < -10 dB dengan pola radiasi *directional*. Dari semua desain yang sudah dibuat, desain *array* 8x4 yang menggunakan bahan *feed* Rogers RT-5880 dengan *gain* terbesar dengan nilai 17.979 dBi. Pada penelitian ini memiliki persamaan pada bagian yang dimana antenna ini bekerja pada frekuensi X-band yaitu 9,4 GHz serta menggunakan antenna mikrostrip *array* dengan bahan FR4 *epoxy*. Namun yang membedakan dari penelitian ini ialah antenna ini menggunakan beberapa bentuk desain *array* yang berbeda-beda seperti 1x2, 4x4, dan 8x4, yang dimana tiap desain memiliki nilai yang tidak sama.

Pada penelitian [11] menggunakan antenna mikrostrip *single patch* yang berbentuk persegi panjang (*rectangular*) dengan resonansi frekuensi untuk penggunaan aplikasi radar. Antena dibuat dengan menggunakan 2 buah pencatu (*dual feed line*) yang terhubung dengan elemen peradiasi *array* 2x1 untuk tujuan meningkatkan *bandwidth*. Antena dirancang menggunakan bahan *substrat* FR-4 dengan *loss tangent* 0.0265, konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4.3, ketebalan *substrat* (h) = 1.6 mm. Hasil dari perancangan dan simulasi pada penelitian ini mendapatkan nilai resonansi frekuensi 8 GHz dengan lebar *bandwidth* 0,52 GHz. Dengan adanya penambahan *dual feed line* pada desain antenna, maka mendapatkan nilai *bandwidth* yang lebih lebar, dengan optimasi *bandwidth* dari 0,52 GHz menjadi 1,35 GHz atau meningkat sekitar 159,62% dari *bandwidth* awal. Hasil dari penelitian ini pun menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode *array* dan *dual feed line* berhasil untuk meningkatkan performa dari antenna. Pada penelitian ini memiliki persamaan pada bagian penggunaan antenna mikrostrip menggunakan metode *array* dan bekerja pada frekuensi 8GHz yang dimana frekuensi 8 GHz merupakan frekuensi X-band. Namun yang menjadi pembeda dari penelitian ini ialah antenna ini menggunakan *array* 2x1 yang menggunakan *dual feed line* serta fokus pada penelitian ini ialah untuk dapat meningkatkan nilai *bandwidth* pada antenna.

Pada penelitian [12] menggunakan antenna mikrostrip *array* 3x3 yang berbentuk persegi (*square*) yang bekerja pada frekuensi 5.4 GHz untuk penggunaan aplikasi komunikasi nirkabel. Antena dibuat dengan menggunakan metode *series-fed array* 3x3 dengan *port* di posisi vertikal dan

horizontal yang menggunakan bahan Rogers RT-5880. Penggunaan metode *series-fed array* 3x3 guna untuk mendapatkan *gain* yang lebih tinggi, *bandwidth* yang baik, serta impedansi masukan dari susunan antenna. Hasil yang didapat melalui simulasi didapatkan nilai *return loss* pada *port* 1 ialah -14.906822 dB, pada *port* 2 ialah -19.454836 dB dan pada *port* 3 ialah -19.889113 dB. Nilai *bandwidth* yang didapat ialah 80.9 MHz, 84.6 MHz, dan 85.5 MHz. nilai *gain* yang didapat ialah 12.35 dBi, 12.28 dBi, dan 12.32 dBi. Pada penelitian ini memiliki persamaan yang dimana menggunakan antenna mikrostrip *array* 3x3 guna untuk mendapatkan *gain* yang lebih tinggi serta *bandwidth* yang baik. Namun yang menjadi pembeda dari penelitian ini ialah penggunaan bahan yang menggunakan Rogers RT-5880 yang dimana penggunaan bahan tersebut relatif murah serta pada pemanfaatannya pada antenna ini untuk digunakan pada aplikasi komunikasi nirkabel yang berkerja pada frekuensi 5.4 GHz (C-band).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Radar

Radio Detection and Ranging (Radar) merupakan teknologi yang dirancang untuk mendeteksi serta melacak objek pada jarak tertentu. Radar memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi objek dengan memanfaatkan pancaran dan gema gelombang elektromagnetik pada frekuensi radio. Radar dapat beroperasi dalam kondisi yang sulit seperti kegelapan, kabut, hujan, atau pada jarak yang jauh. Fungsi utama dari radar ialah dapat untuk mengukur jarak objek dengan presisi. Dalam operasinya, pemancar radar mengirimkan gelombang elektromagnetik pada frekuensi radio menuju objek yang diamati melalui antenna pemancar. Gelombang ini sebagian akan dipantulkan kembali oleh objek tersebut dan antenna penerima akan menangkap gelombang pantulan yang dikirimkan ke penerima. Penerima lalu memproses sinyal ini untuk menentukan lokasi, kecepatan relatif, dan informasi lain dari objek tersebut[13].

Radar memiliki beberapa jenis, tergantung dari bentuk gelombangnya, yaitu:

1. Radar Pulsa (Pulsed Radar) yang bekerja dengan mengirimkan sinyal dalam bentuk pulsa dan telah dimodulasi oleh gelombang sinus. Pada radar pulsa ada delay antara setiap pulsa yang dikirimkan. Delay tersebut dilakukan untuk dapat menciptakan interval waktu antara pengiriman dan penerimaan sinyal elektromagnetik. Tipe radar ini hanya memerlukan satu antena, yang dilengkapi dengan duplexer untuk membedakan waktu antara pemancaran dan penerimaan sinyal.
2. Radar Gelombang Kontinu (Continuous Wave Radar) menggunakan sinyal berupa gelombang sinus yang dimodulasi, baik menggunakan modulasi Frekuensi Modulasi (FM) atau Amplitudo Modulasi (AM). Radar ini mengirimkan gelombang tanpa henti, yang mengharuskan penggunaan dua antena terpisah untuk pemancaran dan penerimaan sinyal.

Pada radar terdiri beberapa komponn bagian besar, yaitu:

1. Transmitter berfungsi untuk menghasilkan dan memodulasi gelombang elektromagnetik yang kemudian akan dipancarkan melalui antena pemancar.
2. Receiver berfungsi untuk mendemodulasi dan mengolah gelombang elektromagnetik yang diterima oleh antena penerima, kemudian akan dilanjutkan dengan deteksi.
3. Antenna berfungsi untuk memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik.
4. Display, digunakan untuk menampilkan hasil deteksi

Prinsip kerja radar navigasi berlandaskan pada pancaran gelombang radio yang tergolong dalam spektrum 'microwave band', yaitu frekuensi gelombang elektromagnetik yang berkisar dari 1 GHz hingga lebih dari 100 GHz dengan panjang gelombang antara 1 meter hingga 1 milimeter dan frekuensi di antara 300 MHz sampai 300 GHz. Pulsa yang dihasilkan pemancar dipindahkan ke antena menggunakan switch elektronik pancar/terima (T/R electronic switch). Selama proses transmisi, antena berotasi antara 10 hingga 30 putaran per menit, serta mengeluarkan pulsa sebanyak 500 hingga 3000 kali per detik. Saat pulsa dipancarkan, pantulan akan kembali jika bertemu dengan objek dan menghasilkan gema (echo)

radio. Pulsa terpantul kemudian diterima oleh antena dan diteruskan ke unit penerima melalui switch pemilih pancar atau terima. Pulsa tersebut kemudian diperkuat dan dideteksi sebagai sinyal radio yang kemudian diperkuat lagi pada indikator[14].

Radar meteorologi atau yang dikenal sebagai radar cuaca memiliki kemampuan untuk menangkap informasi data cuaca seperti intensitas hujan dan arah kecepatan angin, baik secara vertikal maupun horizontal[15]. Sebagian besar radar cuaca diintegrasikan untuk bekerja pada frekuensi C-Band dan di beberapa daerah menggunakan radar cuaca yang bekerja pada frekuensi X-Band. Hal ini terjadi karena tiap frekuensi memiliki perbedaan yang signifikan dalam kebutuhan karakteristik meteorologis dan klimatologis. Radar cuaca yang menggunakan frekuensi C-Band memiliki polarisasi tunggal yang dapat mencakup area dengan radius maksimal 150 Km hingga 240 Km, sedangkan radar cuaca frekuensi X-Band memiliki bentuk polarisasi ganda yang cakupan area dengan radius sekitar 50 Km hingga 60 Km.

Tabel 2. 1 Frekuensi dan panjang gelombang radar cuaca

Band	Frekuensi Kerja radar	Panjang Gelombang	Keunggulan
L	1-2 GHz	30-15 cm	Deteksi turbulensi udara
S	2-4 GHz	15-8 cm	Observasi jarak jauh
C	4-8 GHz	8-4 cm	Cuaca jarak dekat
X	8-12 GHz	4-2,5 cm	Partikel-partikel kecil

sistem radar cuaca bekerja dengan rentang frekuensi L-band hingga X-band yang telah diatur oleh ITU, ICAO dan IMO dan juga telah bekerja sama dengan sektor industri terkait seperti pabrikan radar. Berdasarkan tabel 2.1, radar cuaca menggunakan beberapa frekuensi kerja yang dimana tiap frekuensi memiliki keunggulannya masing-masing. Pada frekuensi L-band memiliki keunggulan yang dimana dapat mendeteksi perubahan kecepatan aliran udara yang diakibatkan beberapa faktor seperti arus udara dari awan

badai, arus termal, ataupun perubahan kecepatan angin secara mendadak. Pada frekuensi S-band memiliki keunggulan untuk dapat mengobservasi jarak jauh untuk dapat mendeteksi objek atau kondisi cuaca dari jarak yang jauh. Radar yang menggunakan frekuensi ini biasanya memancarkan gelombang elektromagnetik ke atmosfer kemudian pantulan tersebut diterima untuk dapat menentukan lokasi, intensitas, dan jenis presipitasi. Pada radar yang menggunakan frekuensi C-band untuk dapat mendeteksi cuaca seperti hujan dan badai dan mendeteksi awan hujan, mengukur intensitas hujan dan memprediksi pergerakan badai dengan radius yang tidak jauh. Pada radar yang menggunakan frekuensi X-band biasanya digunakan untuk mendeteksi partikel-partikel kecil seperti tetesan hujan, kristal es ataupun debu.

Radar cuaca memperbarui dan menyimpan data tentang kondisi cuaca dengan interval waktu yang berubah-ubah antara 5 menit hingga 10 menit. Informasi yang dikumpulkan disimpan di sistem penyimpanan stasiun radar. Karena radar melakukan pemantauan secara terus menerus, volume data yang terkumpul menjadi sangat besar dengan ukuran yang beragam. Radar cuaca beroperasi berlandaskan pada efek Doppler, yaitu metode untuk deteksi objek melalui gelombang radio dengan mengukur perbedaan frekuensi yang terpantul dari frekuensi kerja radar yang disebabkan oleh pergerakan objek yang terdeteksi. Semakin banyak objek tersebut dan bergerak cepat maka efek Doppler yang dihasilkan semakin besar[2].

Menurut Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia nomor 12 tahun 2022 tentang tabel alokasi spektrum frekuensi radio Indonesia pada BAB III, dinas radionavigasi penerbangan menyatakan penggunaan frekuensi radio 9300–9500 MHz digunakan terbatas untuk radar cuaca yang mengudara dan radar berbasis darat. Pada frekuensi radio 9975–10025 MHz juga dialokasikan untuk dinas satelit-meteorologis dengan kategori sekunder untuk penggunaan radar cuaca. Pada Peraturan Direktur Jendral Sumber Daya Dan Perangkat Pos Dan Informatika Nomor 02 Tahun 2020 Tentang Persyaratan Teknis Alat Dan/Atau Perangkat Telekomunikasi Radar pada BAB IV point B mengenai persyaratan konformitas, terdapat radar maritim yang beroperasi pada frekuensi radio pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Pita Frekuensi Radio Radar Maritim

No	Pita Frekuensi Radio
1	2 700 – 2 900 MHz
2	2 900 – 3 100 MHz
3	3 100 – 3 300 MHz
4	8 550 – 8 650 MHz
5	8 650 – 8 750 MHz
6	8 750 – 8 850 MHz
7	8 850 – 9 000 MHz
8	9 000 – 9 200 MHz
9	9 200 – 9 300 MHz
10	9 300 – 9 500 MHz

Power yang digunakan ≤ 30 kW dengan Emisi Spurious -13 dBm apabila PEP ≤ 50 W 10 log PEP-30 apabila PEP > 50 W (Referensi R-REC-SM.329-12) dan Stabilitas Frekuensi 1250 ppm. Pada radar *Surveillance* beroperasi pada frekuensi radio pada tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Pita Frekuensi Radio Radar Surveillance

No	Pita Frekuensi Radio
1	2 700 – 2 900 MHz
2	2 900 – 3 100 MHz
3	3 100 – 3 300 MHz
4	8 550 – 8 650 MHz
5	8 650 – 8 750 MHz
6	8 750 – 8 850 MHz
7	8 850 – 9 000 MHz
8	9 000 – 9 200 MHz
9	9 200 – 9 300 MHz
10	9 300 – 9 500 MHz

Power yang digunakan pada Radar *Surveillance* ≤ 100 kW dengan Emisi Spurious -30 dBm atau 100 dB dan Stabilitas Frekuensi 1250 ppm. Pada *Ground Based Synthetic Aperture Radar* menggunakan frekuensi radio $17,1 - 17,3$ GHz, *power* ≤ 400 mW (26 dBm) EIRP dan lebar pita frekuensi radio ≤ 200 MHz.

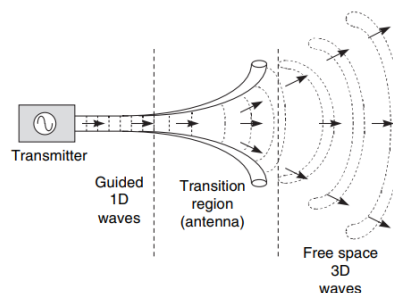
2.2.2 Antena

Antena merupakan perangkat untuk memindahkan energi elektromagnetik dari

media kabel melalui udara kemudian sebaliknya. Antena juga merupakan perangkat sarana untuk memancarkan dan menerima gelombang sinyal radio yang akan ditransmisikan ke ruang bebas. Penggunaan antena memiliki saluran transmisi dengan bentuk Kabel koaksial atau waveguide berfungsi sebagai media penghantar sinyal elektromagnetik dari pemancar ke penerima. maupun sebaliknya.

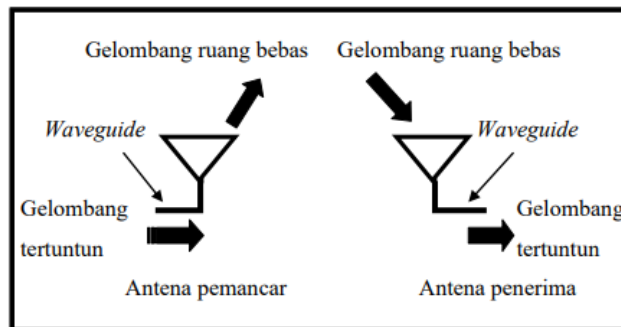
Antena memiliki beberapa pengertian lainnya, diantaranya :

1. *Webster's Dictionary* antena adalah antena adalah alat yang terbuat dari logam (batang atau kawat) yang digunakan untuk mengirimkan atau menerima gelombang radio.
2. Antena menurut standar (IEEE std 145-1983) antena didefinisikan sebagai perangkat untuk memancarkan atau menerima gelombang radio. Dengan kata lain, antena adalah konduktor listrik yang efektif dalam meradiasikan energi elektromagnetik.[5].



Gambar 2. 1 Antena sebagai perpindahan antara gelombang terpandu dan gelombang merambat[16]

Pada gambar 2.1 merupakan medan elektromagnetik yang terperangkap dalam saluran transmisi dan bergerak dalam satu dimensi menuju antenna, yang mengubahnya menjadi gelombang yang memancar, membawa daya dari pemancar dalam tiga dimensi ke ruang bebas. Desain antenna memastikan proses ini terjadi seefisien mungkin, dengan antenna memancarkan sebanyak mungkin daya dari pemancar ke arah yang berguna, terutama ke arah penerima yang dituju, sejauh yang dapat dicapai secara praktis[16].



Gambar 2. 2 Cara kerja antenna [17]

Gambar 2.2 merupakan bentuk dari cara kerja antenna, Pada antenna pemancar, gelombang elektromagnetik diubah menjadi gelombang tertuntun yang kemudian disalurkan melalui kabel transmisi sehingga gelombang dapat dipancarkan dan merambat melalui ruang bebas. Pada sisi antenna penerima, antenna mengubah gelombang yang merambat di ruang bebas menjadi gelombang yang tertuntun. Kemampuan antenna tidak hanya memancarkan gelombang, tetapi juga menerima gelombang dengan baik sesuai dengan arah yang diinginkan[17].

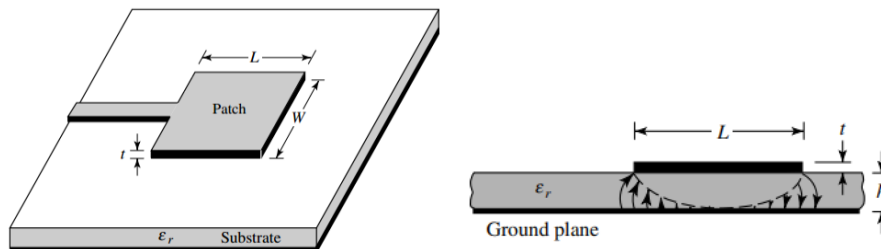
2.2.3 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip atau yang sering dikenal sebagai antenna *patch*/ antenna *printed*. Antena mikrostrip memiliki bentuk seperti lempengan tipis yang di atasnya diletakkan lempengan konduktor dan dipisahkan dengan komponen isolator (*substrate*). Penggunaan antenna mikrostrip saat ini sedang populer karena jenis antenna ini memiliki bentuk dan ukuran yang sederhana.

Terdapat beberapa karakteristik pada antenna mikrostrip, seperti:

1. Memiliki bentuk yang berukuran kecil dan tidak memakan tempat.
2. Biaya fabrikasi yang relatif murah.
3. Dapat diintegrasikan pada perangkat lain.
4. Perancangan dapat disesuaikan dengan parameter yang diinginkan.
5. Memiliki daya bandwidth yang sempit.
6. Daya radiasi yang rendah[18].

Antena mikrostrip terdiri dari 3 struktur dasar yaitu pemancar (*patch*), *substrat*, dan *groundplane*. Adapun bagian-bagian dasar dari antenna mikrostrip pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 antenna mikrostrip[6]

1. Pemancar (*patch*) merupakan lapisan atas *substrat* pada antenna yang berbahan konduktor yang biasanya digunakan untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara. *Patch* memiliki beberapa berbentuk, namun yang sering digunakan berbentuk persegi, persegi panjang, *dipole* dan lingkaran karena bentuk tersebut mudah untuk dianalisis, difabrikasi dan memiliki karakteristik radiasi yang menarik terlebih pada polarisasi radiasinya.
2. *Substrat* merupakan bahan dielektrik sebagai media untuk menyalurkan gelombang elektromagnetik dari pencatu. *Substrat* pada antenna juga sebagai bahan dielektrik untuk membatasi komponen *patch* dengan komponen *ground*. Ketebalan pada *substrat* dapat mempengaruhi nilai bandwidthnya, semakin tebal *substratnya* semakin besar pula bandwidthnya.

3. *Groundplane* merupakan bagian bawah *substrat* yang berbahan dasar konduktif, fungsinya agar dapat mengisolasi radiasi pemancar dan meminimalisir interferensi radiasi yang terjadi. Pada lapisan ini juga dapat untuk memantulkan sinyal datang yang tak diinginkan[6].

2.2.4 Antena Mikrostrip Rectangular Patch

Antena *rectangular patch* atau antena *patch* persegi panjang adalah desain yang paling diminati dalam konfigurasi antena. Kemudahan dalam pembuatan antena *Rectangular patch* terletak pada bentuknya yang sederhana, dimana bagian logam berbentuk persegi panjang dihubungkan ke bagian *substrat*. Model antena *Rectangular patch* seringkali disamakan dengan saluran transmisi mikrostrip yang memiliki dimensi panjang (L), lebar (W), dan ketebalan *substrat* (h). kelebihan penggunaan antena *rectangular patch* untuk bisa mendapatkan nilai *gain* yang tinggi.

Persamaan untuk menghitung panjang dan lebar antena mikrostrip sebagai berikut.

1. Perhitungan lebar *patch* (W_p)

$$W_p = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

- W_p = Lebar *patch* (mm)
- c = Kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)
- f_r = Frekuensi resonansi (Hz)
- ϵ_r = Konstanta dielektrik relatif

2. Perhitungan panjang *patch* (L_p)

Untuk dapat menghitung panjang *patch* (L_p) menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$L_p = L_{eff} - 2\Delta L \dots\dots\dots(2.2)$$

Untuk bisa mendapatkan nilai Panjang *patch* efektif (L_{eff}) dan Panjang *patch* yang dapat ditambahkan (ΔL), diperlukan persamaan sebagai berikut.

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12(\frac{h}{W})}} \right) \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\Delta L = 0,412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3)(\frac{W}{h} + 0,264)}{(\epsilon_{reff} - 0,258)(\frac{W}{h} + 0,8)} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

L_p = Panjang *patch* (mm)

L_{eff} = Panjang *patch* efektif (mm)

ΔL = Panjang *patch* yang dapat ditambahkan

h = Ketebalan *substrate* (mm)

ϵ_{reff} = Konstanta dielektrik relatif efektif

3. Perhitungan panjang *groundplane* (L_g) dan lebar *groundplane* (W_g)

$$W_g = 2 \times W_p \dots\dots\dots(2.6)$$

$$L_g = 2 \times L_p \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

W_g = panjang *groundplane* (mm)

L_g = lebar *groundplane* (mm)

W_p = Lebar *patch* (mm)

L_p = Panjang *patch* (mm)[19].

4. Perhitungan Lebar *feedline* (W_f) pada saluran transmisi (*feedline*)

$$W_f = \frac{2h}{\pi} (B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} (\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r})) \quad (2.8)$$

Untuk bisa mendapatkan nilai Lebar *feedline* (W_f), diperlukan persamaan Medan magnetik (B) dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

B = Medan magnetik

Z_0 = Impedansi karakteristik saluran transmisi (Ω)

5. Perhitungan panjang *feedline* (L_f) pada saluran transmisi (*feedline*)

$$L_f = \frac{1}{4}\lambda_g \dots\dots\dots(2.10)$$

Untuk bisa mendapatkan nilai panjang *feedline* (L_f), diperlukan persamaan Panjang gelombang di udara bebas (λ_0) dan Panjang gelombang pada bahan dielektrik (λ_g) dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\lambda_0 = \frac{c}{f}$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

- c = Kecepatan gelombang elektromagnetik (3×10^8 m/s)
- f = Frekuensi kerja (Hz)
- λ_0 = Panjang gelombang di udara bebas (m)
- λ_g = Panjang gelombang pada bahan dielektrik[20].

2.2.5 Antena Mikrostrip Array

Antena yang menggunakan elemen tunggal memiliki pola radiasi yang luas namun kurang dalam keterarahan dan penguatan (*gain*). Dalam beberapa implementasi, diperlukan antena yang memiliki arah yang jelas dan penguatan (*gain*) yang lebih tinggi, seperti radar, penginderaan jauh, komunikasi satelit, dan lain sebagainya. Untuk bisa mencapai karakteristik antena tersebut, maka elemen antena perlu dirancang secara tersusun dengan menggunakan beberapa konfigurasi. Jenis antena yang terdiri dari susunan elemen-elemen ini biasanya dikenal sebagai antena *array*.

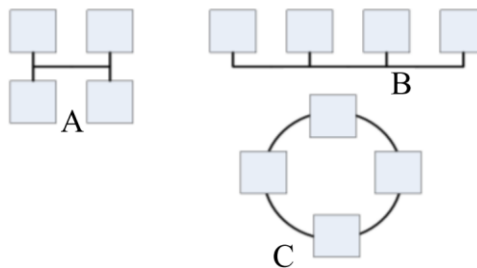
Antena *array* merupakan gabungan dari beberapa elemen *patch* yang membentuk suatu struktur, baik secara seri, paralel, maupun gabungan dari kedua bentuk tersebut. Pada antena mikrostrip, bentuk susunan yang disusun secara *array* ialah komponen *patch*/ peradiasi. Pembuatan antena *array* bertujuan untuk memperbesar *gain*, meningkatkan *directivity*, mengarahkan daya pancar menuju sektor sudut tertentu, mengidentifikasi arah datangnya sinyal, serta meningkatkan SNR (*Signal to Noise Ratio*). Antena *array* ditentukan dari medan yang diradiasikan oleh elemen tunggal[7]. Antena *array* terdiri dari elemen yang sama dengan susunan yang sistematis. Adapun beberapa parameter yang membentuk pola radiasi antena seperti:

1. Bentuk konfigurasi geometris
2. Jumlah elemen konfigurasi antena
3. Jarak antar elemen antena
4. Level dan fase amplitudo masukan pada setiap elemen

5. Bentuk pola radiasi unsur

Antena mikrostrip *array* memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan antena mikrostrip standar lainnya, seperti memiliki bandwidth dan *gain* yang lebih besar. Namun, antena ini juga memiliki kekurangan, seperti membutuhkan jalur transmisi atau pencatu antara elemen peradiasi dan input connector untuk meminimalisir rugi-rugi sehingga dapat menurunkan efisiensi antena. Antena *array* memiliki beberapa susunan konfigurasi yang memiliki keunggulannya masing-masing sebagai berikut.

1. Linear *array*, memiliki keunggulan berupa perhitungan yang sederhana.
2. Planar *array*, memiliki keunggulan berupa pengaturan dan pengendalian arah pola radiasi
3. Circular *array*, memiliki keunggulan berupa mudah untuk mencapai pola radiasi yang seragam dan simetris[21].



Gambar 2. 4 Antena Mikrostrip Dengan Teknik Array (A) Teknik Planar, (B) Teknik Linear, (C) Teknik Circular[21]

2.2.6 Antena Array Series-Fed

Antena *array series-fed* adalah jenis antena *array* di mana elemen-elemen antenanya dihubungkan dalam rangkaian seri. Antena *series-fed* menggunakan jalur transmisi pendek untuk mengurangi kerugian daya dan meningkatkan efisiensi antena secara keseluruhan. Antena ini dapat didesain untuk memiliki karakteristik impedansi dan radiasi yang baik. Desain antena ini cenderung lebih sederhana karena tidak memerlukan banyak pembagi daya dan jalur transmisi panjang. Antena *array series-fed* karena tidak memerlukan banyak komponen pembagi daya, antena jenis ini dapat menghasilkan radiasi spurius yang lebih sedikit, yang merupakan radiasi

yang tidak diinginkan dan dapat mengganggu kinerja antenna. Desain juga membantu mengurangi fenomena beam squint, yaitu pergeseran arah utama radiasi antenna yang tidak diinginkan ketika frekuensi sinyal berubah.

kekurangan dai penggunaan antenna *array series-fed* ialah cenderung memiliki lebar pita yang lebih sempit dibandingkan dengan antenna *parallel-fed*. Ini karena perubahan kecil dalam frekuensi dapat mempengaruhi fase dan amplitudo sinyal yang diterima oleh elemen-elemen *array* secara signifikan, serta Pencocokan impedansi yang buruk dapat mengakibatkan refleksi sinyal yang tidak diinginkan dan kehilangan daya[8].

2.2.7 Jarak Antar Elemen

Jarak antar elemen/ *patch* digunakan saat perancangan desain antenna *array*. jarak antar *patch* dapat dirancang diantaranya ($d = \lambda/2$), ($d = \lambda/4$), dan ($d = \lambda/8$). Jarak antar *patch* dapat diatur untuk mendapatkan nilai yang lebih optimal. untuk mendapatkan nilai panjang antar *patch*, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon r}} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$d = \frac{\lambda}{2/4/8} \dots\dots\dots(2.14)$$

λ = Panjang gelombang
 d = Panjang Antar *patch* (mm)[22]

2.2.8 Parameter Antena

1. VSWR

VSWR atau *Voltage Standing Wave Ratio* adalah perbandingan antara amplitudo gelombang maksimum dengan gelombang minimum dari gelombang berdiri yang terjadi karena adanya gelombang pantulan yang menyebabkan ketidakcocokannya antara impedansi input dengan feeder. Pada dasarnya, VSWR dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + |\Gamma(z)|}{1 - |\Gamma(z)|} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana:

V_{max} = Tegangan Maksimum

V_{min} = Tegangan Minimum

$\Gamma(z)$ = Koefisien refleksi

Koefisien refleksi adalah rasio antara tegangan gelombang yang dipantulkan (V_0^-) dengan gelombang yang dikirimkan (V_0^+). Nilai koefisien refleksi bervariasi, mulai dari 0 (nol), yang menunjukkan tidak ada refleksi dan saluran dalam keadaan matching sempurna, hingga 1 (satu), yang menunjukkan adanya refleksi dan saluran dalam kondisi ideal. Koefisien refleksi pada VSWR yang bernilai 0 akan sangat sulit untuk dicapai, sehingga koefisien refleksi yang ideal pada VSWR bernilai 1. Koefisien refleksi (Γ) dapat dinyatakan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana:

Z_L = impedansi beban

Z_0 = impedansi saluran transmisi

2. *Return loss*

Return loss merupakan Parameter koefisien refleksi untuk menilai jumlah daya yang terbuang pada beban dan tidak dapat dipantulkan kembali sebagai refleksi. *Return loss* terjadi ketika ada perbedaan impedansi antara saluran transmisi dan beban. Ini bisa mengakibatkan sebagian dari energi sinyal terpantulkan kembali ke saluran transmisi, mengurangi efisiensi transmisi. Namun, ketidaksesuaian impedansi ini juga bisa dimanfaatkan untuk menyesuaikan atau menyetel performa antenna atau sistem transmisi, meskipun mungkin memerlukan penyesuaian yang lebih kompleks. Dengan memastikan nilai rasio

gelombang berdiri ≤ 2 , maka nilai *return loss* yang dibutuhkan adalah ≤ -10 dB. *Return loss* dapat dinyatakan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$R_L = 20 \log_{10} |\Gamma| \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana:

R_L = *return loss*

$\Gamma(z)$ = Koefisien refleksi[23]

3. *Gain*

Gain antenna adalah besaran yang memperhitungkan efisiensi dan direksional antenna. *Gain* sebuah antenna dihitung dengan perbandingan intensitas radiasi maksimum terhadap intensitas radiasi pembanding dengan daya maksimum yang sama. *Gain* antenna didefinisikan rasio antara intensitas radiasi yang terarah dan intensitas radiasi yang akan diterima jika daya yang diterima oleh antenna diradiasikan secara isotropis. *Gain* menunjukkan seberapa efisien sebuah antenna dapat mentransformasi daya yang ada pada terminal masukan menjadi daya yang teradiasi pada arah tertentu. *Gain* dan *directivity* memiliki hubungan untuk melakukan perhitungan yang efisien pada antenna.

$$G = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \dots\dots\dots(2.18)$$

dimana:

$U(\theta, \phi)$ = Intensitas radiasi

P_{in} = daya input total diterima[6]

4. Bandwidth

Bandwidth antenna didefinisikan sebagai rentang frekuensi kerja dari antenna untuk menunjukkan karakteristik pada standar yang telah ditentukan. *Bandwidth* mencakup karakteristik antenna seperti impedansi masukan, bentuk, lebar pancaran, polarisasi, tingkat lobus samping, penguatan, arah pancaran, dan efisiensi radiasi. *Bandwidth* diukur dari

rentang frekuensi yang digunakan frekuensi atas dan bawah. Bandwidth dapat dinyatakan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$bandwidth = \frac{f_h - f_i}{f_c} \times 100\% \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana:

f_h = frekuensi tertinggi dalam band (Hz)

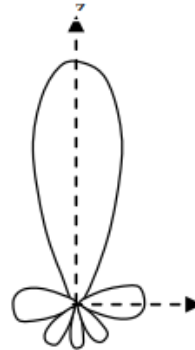
f_i = frekuensi terendah dalam band (Hz)

f_c = frekuensi tengah dalam band (Hz)[24]

5. Pola radiasi

Pola radiasi adalah distribusi intensitas radiasi dari sebuah antena dalam koordinat ruang. Ini menggambarkan secara grafis bagaimana antena memancarkan sinyal berdasarkan posisi dalam ruang. Pola radiasi diatur oleh area medan yang jauh dan digambarkan sebagai fungsi yang bergantung pada arah koordinat. Pola radiasi terbagi menjadi 3 yaitu:

a. Pola radiasi Unidirectional



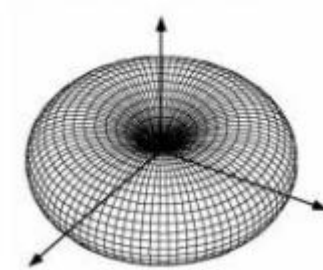
Gambar 2. 5 Pola radiasi Uni-directional

Pola radiasi unidireksional menggambarkan pola pancaran antena yang terfokus pada satu arah tertentu. Antena ini cenderung memancarkan atau menerima gelombang elektromagnetik secara vertikal dengan intensitas yang lebih tinggi dalam satu arah.

b. Pola radiasi Omni-Directional

Pola radiasi omni-directional adalah pola pancaran antena yang memancarkan atau menerima gelombang elektromagnetik ke

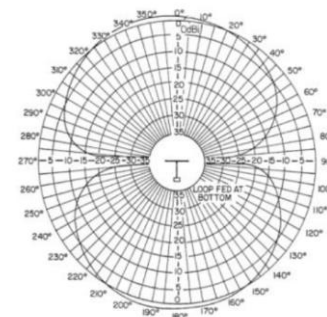
segala arah dalam bidang horizontal 360° . Antena omni-directional mencirikan sifat isotropis dalam pemancarannya, dengan intensitas pancaran merata ke semua arah.



Gambar 2. 6 Pola radiasi Omni-directional

c. Pola radiasi Bidirectional

Pola radiasi bi-directional adalah kemampuan antena untuk memancarkan atau menerima gelombang elektromagnetik dengan intensitas yang sama besar ke arah dua titik[25].



Gambar 2. 7 Pola radiasi Bi-directional

6. Keterarahan (Direktivitiy)

Keterarahan antena didefinisikan dengan membandingkan intensitas radiasi ke suatu arah tertentu terhadap intensitas radiasi yang ke segala arah. Intensitas radiasi rata-rata dihitung dengan membagi total daya yang dipancarkan oleh antena dengan 4π . Bila tidak ada arah yang ditentukan, maka arah yang dituju mengarah ke arah intensitas radiasi maksimum. Keterarahan (Direktivitiy) dapat dinyatakan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \dots\dots\dots(2.20)$$

Bila arah tidak ditentukan, keterarahan (Direktiviti) pada intensitas radiasi maksimum dapat dinyatakan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$D_{max} = D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana:

D = keterarahan

D_0 = keterarahan maksimum

U = intensitas radiasi

U_{max} = intensitas radiasi maksimum

U_0 = intensitas radiasi pada sumber isotropik

P_{rad} = daya total radiasi[26]