

BAB II

TEKNOLOGI JAMMER DRONE

2. Drone

Drone adalah kendaraan udara tanpa awak. Pesawat ini dapat dikendalikan dari jarak jauh oleh pilot yang duduk di darat atau di dalam kendaraan lain, atau dapat dioperasikan secara otomatis dengan perangkat lunak komputer yang dibuat khusus. UAV awalnya adalah pesawat yang dikendalikan dari jarak jauh, tetapi semakin banyak yang mulai menggunakan sistem otonom. Drone mulai digunakan secara luas untuk keperluan sipil sebagai akibat dari kemajuan teknologi, khususnya di bidang bisnis, manufaktur, dan logistik. Drone telah digunakan di sektor bisnis untuk sejumlah tugas, termasuk memetakan kawasan pertanian dan industri, memadamkan kebakaran hutan, mengirimkan barang, memantau infrastruktur, dan eksplorasi pertambangan. Drone dapat dimanfaatkan oleh militer untuk keamanan negara, operasi pencarian dan penyelamatan saat terjadi bencana alam, dan tugas pengintaian.



Gambar 2. 1 Berbagai macam bentuk drone [2]

3. Fungsi Kegunaan Drone

Tergantung pada kebutuhan pengguna, drone dapat melakukan berbagai tugas. Fungsi drone dapat dikembangkan oleh siapa saja, mulai dari pelajar hingga ahli; mereka dapat digunakan untuk apa saja, dan semua orang dapat belajar cara mengendalikannya.

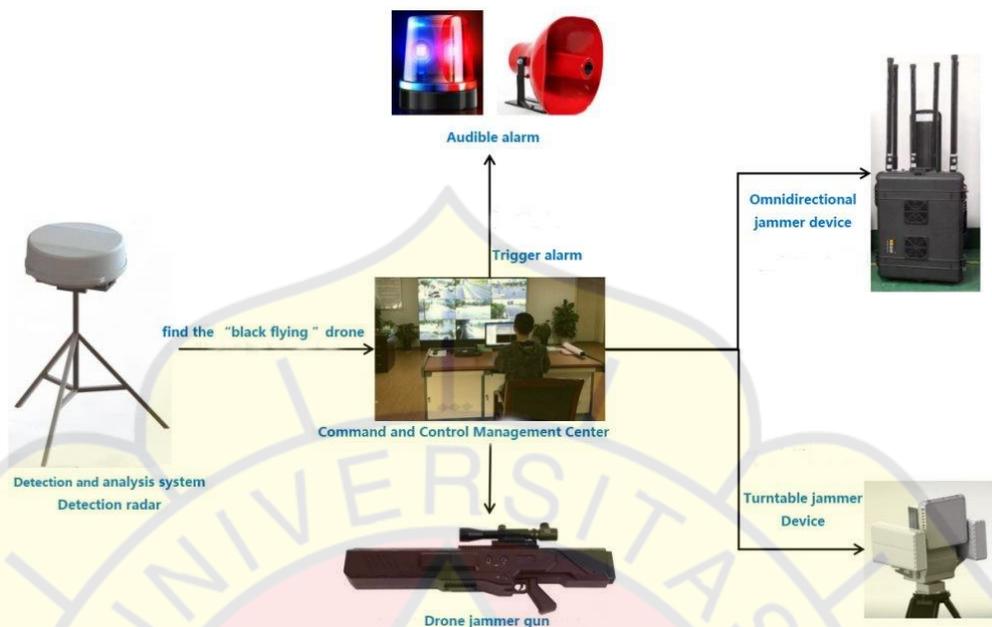
Drone umumnya digunakan di militer untuk berbagai tugas terkait intelijen, termasuk merancang persenjataan militer, melakukan pengintaian, menyerang wilayah musuh secara mendalam, dan memantau setiap aspek situasi yang sangat berisiko. Drone biasanya digunakan di organisasi pemerintah untuk pemetaan udara. Selain itu, barang-barang ringan tertentu dapat dikirim atau dibawa dengan drone.

Tabel 2. 1 Jenis – Jenis Type Drone dan Spesifikasi nya [2]

Type Drone	Spesifikasi
Hubsan X4H107D	Operating Frequency 2,400 - 2,550Ghz +5,725- 5,850Ghz Max Transmision Distance 100-500M
DJI Mavic Air – Onyx Black	Operating Frequency 2,400 - 2,483 + 5,725 - 5850Ghz Max Transmision Distance 500M
FIMI X8SE 2020	Operating Frequency 5,725 - 5,850Ghz Max Transmision Distance 450-500M

4. Sistem Pertahanan Anti-Drone

Sistem pertahanan anti-drone adalah teknologi untuk mengamankan area tertentu dari kehadiran drone penghancur. Sistem anti-drone memindai spektrum RF untuk mendeteksi keberadaan drone di area yang diawasi, mengidentifikasi lokasi drone, dan memaksa mereka mendarat atau mengirim UAV ke titik peluncuran mereka, serta memaksa mereka melayang-layang tak terkendali menggunakan metode gangguan RF. Diagram blok dari sistem pertahanan darat anti-drone yang diimplementasikan disajikan pada gambar berikut.



Gambar 2. 2 Blok diagram sistem pertahanan anti-drone [2]

Deteksi drone bekerja dengan mengeksploitasi berbagai karakteristik drone yang sedang terbang. Drone umumnya memancarkan panas, suara, dan sinyal RF untuk berkomunikasi dengan operator jarak jauh. Sistem deteksi mengumpulkan data sensor untuk mengonfirmasi keberadaan drone di area terdekat. Pada tahap ini, dapat dikenali jenis drone yang digunakan, ukuran drone dan lokasinya

Identifikasi drone bekerja secara akurat, kuat, dan segera terutama mendeteksi area target. Sistem identifikasi harus bekerja sama dengan sistem deteksi untuk mempertahankan area target tanpa netralisasi palsu. Idealnya, identifikasi drone harus secara pasif mengidentifikasi legalitas drone melalui tag identifikasi yang melekat padanya yang menyiarkan informasinya secara berkala. Setiap sistem anti-drone harus menyertakan solusi identifikasi aktif untuk menentukan tingkat bahaya untuk drone yang terdeteksi, dengan melacak dan memperkirakan jalur penerbangan dan mengumpulkan informasi spesifik seperti model drone dan detail properti yang melanggar peraturan keselamatan.

Netralisasi drone sebagai komponen sistem anti-drone yang mengacu pada operasi yang menekan pergerakan drone yang mengancam. Kami mengklasifikasikan metode netralisasi sebagai destruktif dan non-destruktif. Pengklasifikasian ini berlaku

karena tidak hanya menghadirkan kesulitan teknis tetapi juga ketersediaan dalam peraturan sipil. Penghancuran drone ilegal saat ini dilarang oleh banyak negara, jadi cara non-destruktif lebih disarankan di beberapa konstitusi publik.[11]

Persyaratan teknis alat dan perangkat telekomunikasi yang beroperasi pada pita frekuensi radio 2,4 Ghz dan / pita frekuensi radio 5,8 Ghz

Menimbang : A. Bahwa sesuai ketentuan pasal 71 ayat (1) peraturan pemerintah nomor 52 tahun 2000 tentang penyelenggaraan Telekomunikasi, setiap alat dan perangkat telekomunikasi yang di buat dan di rakit , di masukan untuk diperdagangkan dan/ atau digunakan di wilayah negara republik Indonesia wajib memenuhi syarat teknis

B. Bahwa berdasarkan pertimbangan sebagaimana dimaksud dalam huruf a, perlu menetapkan peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika tentang persyaratan teknis alat dan perangkat Telekomunikasi yang beroperasi pada pita frekuensi Radio 2,4 Ghz dan/ atau Pita Frekuensi Radio 5,8 Ghz dengan jarak jangkau 500-1Km.[10]

5. Jammer Drone

Jammer drone dapat mengurangi kinerja drone penghancur dengan proses netralisasi drone, yang mana kontrol drone menjadi sangat terganggu. Tujuan umumnya adalah membuat lawan target jatuh ke keadaan tidak terkendali di mana mereka tidak dapat bertukar sinyal komunikasi eksternal.

Jamming adalah solusi sederhana, kuat, dan luas dengan risiko kegagalan rendah, oleh karena itu sebagian besar sistem anti-drone mengadopsi jamming sebagai skema netralisasi utamanya. Namun, karena teknik pengacau terutama menggunakan sinyal elektromagnetik, mereka dapat memiliki dampak yang tidak diinginkan yang signifikan, termasuk siaran TV, telekomunikasi, atau bahkan sistem lalu lintas udara. Dengan demikian, sebagian besar negara melarang keras teknologi jamming di depan umum.[1]



Gambar 2. 3 Varian Drone Jammer type SRD-UAV

Dibawah ini adalah daftar jammer Drone beserta spesifikasi kontroler drone yang mendukung pada frekuensi 2,4 GHz dan 5,8 GHz

Tabel 2. 2 Daftar Jammer Drone beserta spesifikasi kontroler drone [2]

No	Type Model	Spesifikasi
1	PJ-2458-2	Frequency band I 2,4Ghz Frequency band II 5,8Ghz Output Power 20W Over 1KM effective jamming distance
2	SRD-UAV80	Frequency band CH1 2400-2485MHz Output power 45dBm Frequency band CH2 5725-5850 Output power 44dBm Total output power 125W Directional Panel Antena 8dBi
3	DIGITAL EAGLE QR – 07S3	Frequency band CH1 2400-2485 Output power 46dBm(40W) Frequency band CH2 5725-5850 Output power 45dBm(30W)

		High gain 8dBi build in antenna Jamming range up to 500M- 1,2Km Total output power 90W
4	SRD-UAV101	Frequency band CH1 2400- 2485MHz Output power 43dBm(20W) Frequency band CH2 5725- 5850MHz Output power 43dBm(20W) Total output power 90W Directional Panel Antena 8dBi

2.4.1 Kegunaan Jammer

Jammer sangat diperlukan di kawasan sensitif seperti gedung pemerintah, pangkalan militer, zona tertutup, terlarang, dan terlarang, serta tempat-tempat dengan tingkat keamanan tertentu di mana beberapa tugas tidak dapat diselesaikan dengan bebas.

Karena sebagian besar drone dilengkapi dengan kamera luar biasa yang dapat menangkap gambar orang dan data sensitif, masalah privasi juga sering kali diangkat oleh drone. Selain itu, drone dapat digunakan untuk menembakkan senjata api, menjatuhkan bom, menabrak bangunan, dan menyelundupkan obat-obatan terlarang. Oleh karena itu, untuk menjaga ruang pribadi dan privasi di beberapa wilayah, diperlukan jammer yang dapat memblokir sinyal drone yang dikendalikan dari jarak jauh.

Drone jammer yang merupakan pengacau sinyal frekuensi kendali *drone* juga diperlukan sebagai perangkat keamanan di fasilitas penyimpanan minyak dan gas, patrol perbatasan, daerah perang, bandara, ataupun tempat-tempat yang melarang adanya *drone* atau benda udara tanpa ijin khusus.

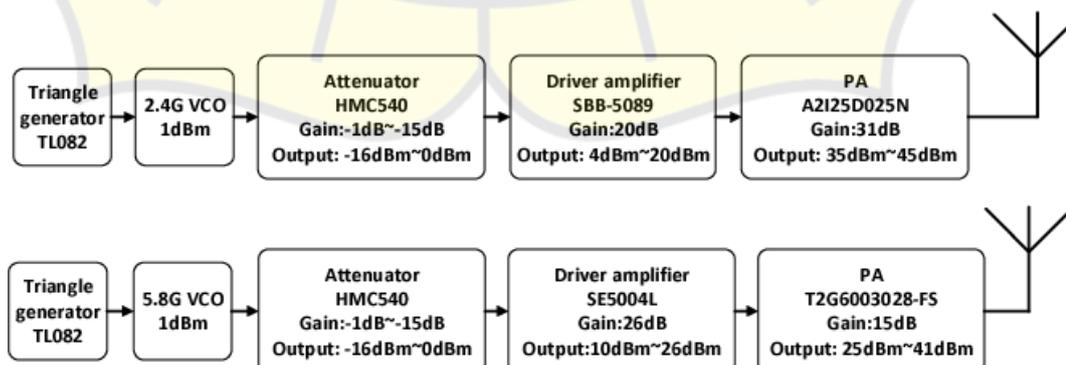
2.4.2 Jenis jenis Drone Jammer

Drone jammer secara umum dapat dibagi menjadi 2, yaitu *jammer* untuk *drone sipil (civilian drone jammer)* dan *jammer* untuk *drone militer (military drone jammer)*.

- Jammer dasar yang dimaksudkan untuk menghentikan drone sipil yang tidak sah mengakses lokasi tertentu disebut jammer drone sipil. Jammer ini menonaktifkan Wi-Fi, GPS, dan/atau layanan seluler di wilayah tertentu. Tidak semua orang bisa menggunakan jammer ini karena memerlukan izin yang sangat ketat; di beberapa negara, hal itu bahkan dilarang.
- Jenis jammer unik yang dirancang untuk mengganggu sinyal komunikasi drone militer adalah jammer drone militer. Dalam hal ini, jammer dibuat lebih canggih untuk mencapai hasil terbaik dalam skenario perang atau keamanan nasional. Beberapa produsen jammer drone militer adalah Drone Guard BATS Belgia, Drone Jammer Model 110 Series dari HSS Development, UAV Drone Jammer CPB-4030C dari Clear Sky, dan DroneRANGER Drone Jammer Defense System dari MGT Eropa.

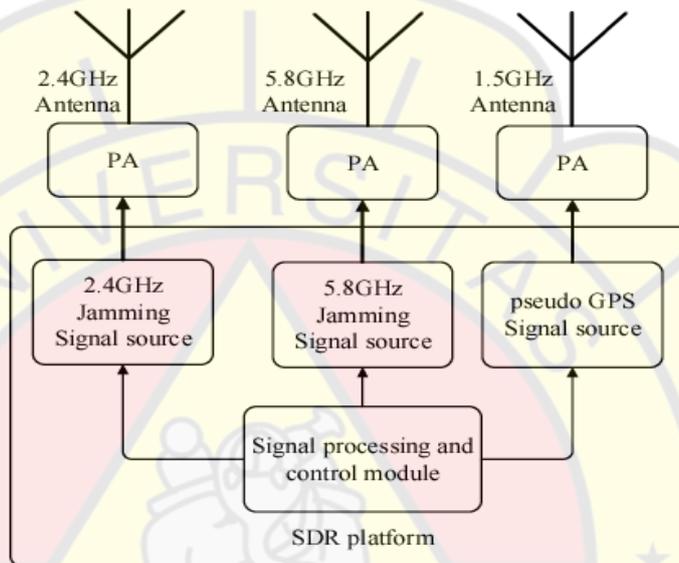
6. Arsitektur Transmitter Jammer Drone

Radar mendeteksi objek fisik dan menentukan bentuk, jarak, kecepatan, dan arahnya dengan merasakan sinyal radio yang dipantulkan. Berbeda dengan pemindai RF, radar mengukur waktu penerbangan untuk sinyal yang dipantulkan, sedangkan pemindai RF mendemodulasi sinyal itu sendiri. Radar gelombang kontinu secara khas mengukur kecepatan target menggunakan jangkauan dan informasi doppler.



Gambar 2. 4 Arsitektur transmitter jammer drone [3]

Pola radiasi yang digunakan mode jamming, yaitu directional dan omnidirectional, yang mencakup frekuensi GPS 1.5GHz, dan frekuensi WiFi 2.4GHz, serta 5.8GHz.

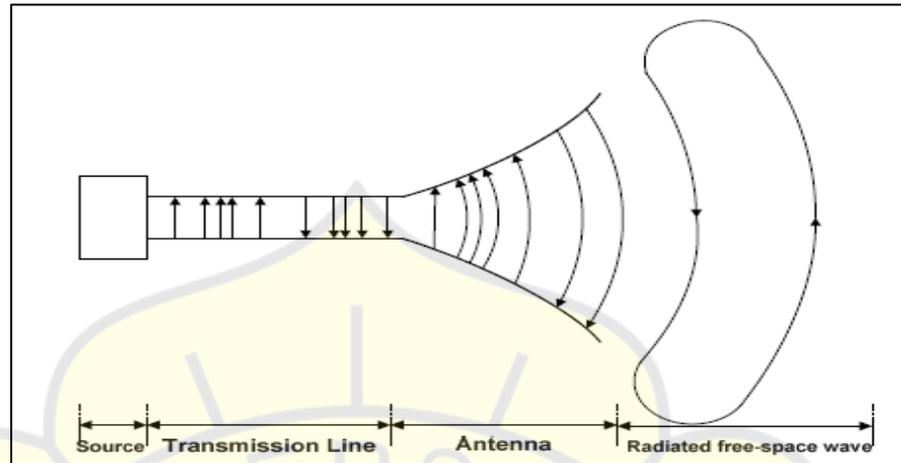


Gambar 2. 5 Sistem pembagian frekuensi 1.5GHz, 2.4GHz, dan 5.8GHz [3]

7. Pengertian Antena

Antena adalah alat perambatan dan penerimaan gelombang elektromagnetik atau radio. Proses transmisi gelombang radio atau elektromagnetik melalui antena pemancar dari saluran transmisi ke ruang terbuka disebut transmisi. Di sisi lain, penerimaan adalah proses penggunaan antena penerima untuk menangkap gelombang radio atau elektromagnetik dari luar angkasa.

Antena harus memiliki karakteristik yang sesuai dengan saluran suplai karena merupakan perangkat perantara untuk antena transmisi dan saluran udara. seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 6 Antena sebagai konversi medan listrik menjadi medan elektromagnetik [13]

8. Parameter Antena

Antena dapat dicirikan dengan parameter utama seperti bandwidth (lebar pita frekuensi), return loss (RL), Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), inmput impedance (impedance masukan), radiation pattern (Pola radiasi), gain (penguatan antena), dan beamwidth (sudut keterarahan antena) Parameter ini akan dibahas secara singkat di bawah ini. [8]

2.7.1 Bandwidth

Bandwidth atau lebar pita antena mikrostrip merupakan jangkauan frekuensi antara kenaikan nilai VSWR dari satu sampai batas nilai yang dapat ditoleransi. Besarnya bandwidth adalah selisih antara frekuensi maksimum f_H dan frekuensi minimum f_L dengan batas kenaikan nilai $VSWR \leq 2$ dan dinyatakan dengan persamaan : [8]

$$BW = f_H - f_L \quad [2-1]$$

Untuk nilai presentasi bandwidth dapat dinyatakan dengan persamaan

$$\%BW = \frac{f_H - f_L}{f_c} \quad [2-2]$$

Dengan f_c dirumuskan:

$$f_c = \frac{f_H + f_L}{2}$$

[2-3]

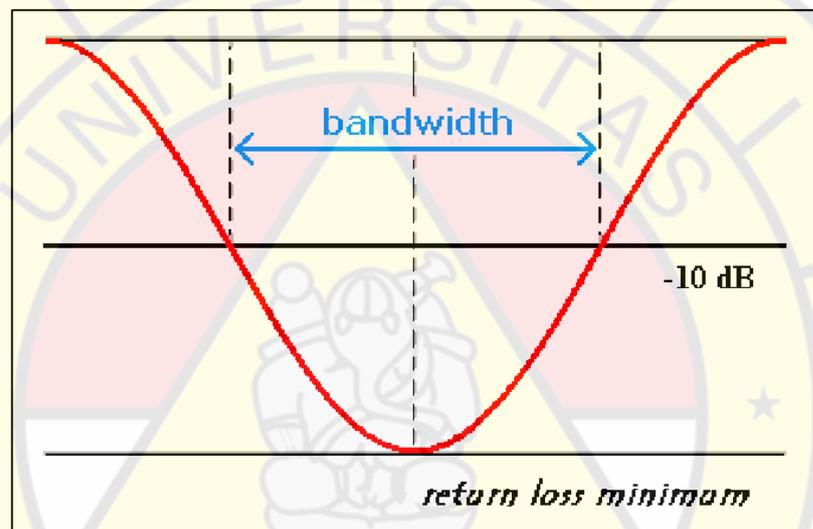
Dimana:

f_c : Frekuensi tengah (Hertz)

f_H : Frekuensi maksimum (Hertz)

f_L : Frekuensi minimum (Hertz)

BW : Lebar pita atau bandwidth



Gambar 2. 7 Bandwidth Frekuensi Kerja -10 dB [8]

2.7.2 Return loss

Return loss didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan yang datang atau yang direfleksikan dengan tegangan yang keluar. Perbandingan tersebut dinamakan koefisien refleksi tegangan yang dilambangkan dengan Γ_L untuk koefisien refleksi dapat dinyatakan dengan persamaan: [8]

$$\Gamma_L = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

[2-4]

Dimana:

Γ_L : Koefisien refleksi tegangan

V_0^- : Tegangan yang di pantulkan (Volt)

V_0^+ : Tegangan yang di kirimkan (Volt)

Z_L : Impedansi beban atau load (Ohm)

Z_0 : Impedansi saluran atau lossless (Ohm)

Parameter return loss dapat juga dikatakan sebagai rugi rugi pada transmisi dikarenakan tidak seimbanganya impedansi karakteristik dengan impedansi beban. Untuk return loss dapat di peroleh dengan cara memasukan nilai koefisiensi tegangan kedalam persamaan: [8]

$$RL(dB) = 20 \log |\Gamma_L| \quad [2-5]$$

Nilai return loss yang di katakan baik untuk sebuah antena adalah dibawah - 9.54 dB, atau untuk standar simulasi nilai return loss setidaknya dibawah -10 dB. Nilai tersebut menunjukkan bahwa gelombang yang di refleksikan tidak terlalu besar di bandingkan dengan gelombang yang dikirimkan, dengan kata lain saluran tersebut dikatakan sudah dalam keadaan matching.

2.7.3 Impedansi Input

Impedansi masukan adalah perbandingan antara tegangan dengan arus, yaitu merupakan impedansi yang masuk ke terminal antena yang dikondisikan dalam keadaan seimbang dengan impedansi karakteristik dari saluran transmisi

Input impedansi dinyatakan dalam persamaan: [8]

$$Z_{in} = Z_0 \frac{1 + \Gamma_L}{1 - \Gamma_L} \quad [2-6]$$

Dimana:

Z_{in} : Impedansi masukan terminal (Ohm)

Z_0 : Impedansi masukan karakteristik antena (Ohm)

Γ_L : Koefisien refleksi tegangan

Impedansi input (Z_{in}) dari saluran transmisi didefinisikan sebagai rasio tegangan terhadap arus pada input dan merupakan impedansi yang merujuk ke arah beban.

$$Z_{in} = (R_{in} + jX_{in})\Omega \dots\dots\dots [2-7]$$

Dimana :

Z_{in} : Impedansi Masukan

R_{in} : Bilangan Real

X_{in} : Bilangan Imajiner

Daya real (R_{in}) merupakan komponen yang diharapkan, yakni menggambarkan banyaknya daya yang hilang melalui radiasi, sementara komponen imajiner (X_{in}) menunjukkan reaktansi dari antena dan daya yang tersimpan pada medan dekat antena.

2.7.4 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

VSWR didefinisikan sebagai rasio besarnya tegangan maksimum pada saluran dengan besarnya tegangan minimum pada garis. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai persamaan dibawah. [8]

$$VSWR(l) = \frac{1+\Gamma(l)}{1-\Gamma(l)} \dots\dots\dots [2-8]$$

VSWR hanyalah ukuran lain dari seberapa baik saluran transmisi dicocokkan dengan bebannya. Berbeda dengan koefisien refleksi, VSWR adalah skalar dan tidak memiliki fase dalam pembentukan. Untuk saluran transmisi yang tidak sempurna, VSWR adalah fungsi dari Panjang saluran (l) serta impedansi beban dan impedansi karakteristik saluran. Tapi untuk saluran transmisi *lossless*, VSWR adalah sama pada setiap titik referensi dari garis.

$$|\Gamma| = \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \dots\dots\dots [2-9]$$

Ini dapat digunakan untuk menghitung koefisien refleksi setelah VSWR diketahui.

2.7.5 Pola Radiasi

Pola radiasi adalah distribusi daya dalam ruang di sekitar antena yang terpancar. Daya terpancar yang dimaksud adalah intensitas radiasi elektromagnetik atau kekuatan medan dalam suatu ruang. Ada banyak variasi pola tergantung pada jenis antena dan aplikasinya. Pola dapat bersifat omnidirectional atau memancar ke segala arah dan bidirectional atau keterarahan. Untuk bidirectional dapat menjangkau jarak yang begitu jauh dengan mempertimbangkan gain antena.[8]

2.7.6 Polarisasi

Polarisasi antena merepresentasikan arah waktu yang bervariasi dari vektor medan listrik, seperti arah vertikal, horizontal dan polarisasi melingkar. Gelombang yang dipancarkan oleh LPDA tunggal memiliki polarisasi linier, ketika bidang antena sejajar dengan ground. Untuk mendapatkan pola dua arah atau polarisasi melingkar, dapat menggabungkan beberapa LPDA. Dalam hal ini, pusat fase efektif total dapat dihubungkan pada pencatuan.[4]

2.7.7 Gain

Gain adalah salah satu parameter yang sangat penting yang menggambarkan kinerja dan efisiensi antena. Ini adalah ukuran kemampuan antena untuk mengarahkan daya yang dipancarkan ke arah tertentu. Untuk radiator sumber isotropik, daya yang dipancarkan didistribusikan secara merata untuk semua arah dan rapat daya pada jarak dapat diturunkan sebagai (S) ketika daya input (P_o). Ini berarti daya yang dipancarkan dibagi dengan luas bola pada jarak .[4]

$$S = \frac{P_o}{4\pi R^2} \quad [2-10]$$

2.7.8 Beamwidth

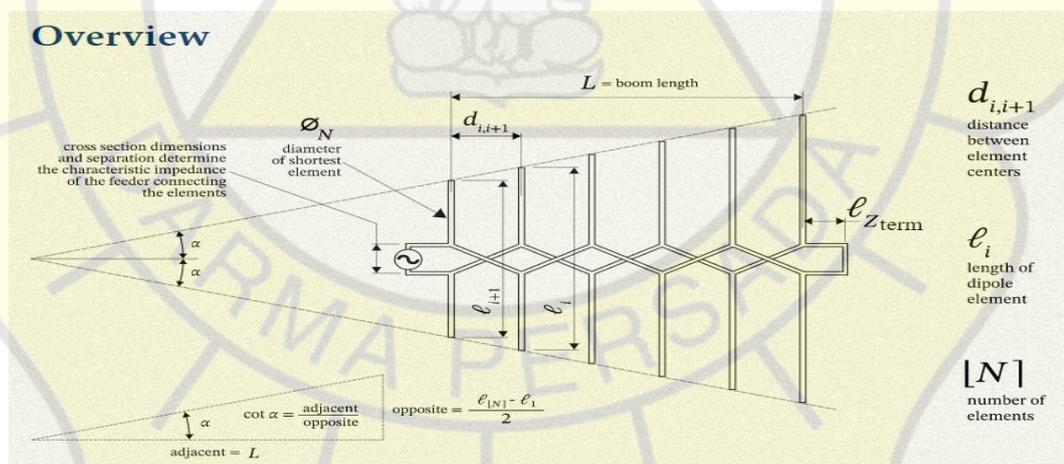
Beamwidth diartikan sebagai pemisahan sudut antara dua titik identik di sisi berlawanan dari maksimum pola radiasi. Umumnya, definisi nilai beamwidth adalah titik setengah daya.[6]

9. Antena Mikrostrip Log Periodik

Antena log periodik dipol array (LPDA) dapat mencapai directivity tinggi dalam rentang frekuensi yang sangat luas[3]. Dengan desain yang agak sederhana, antena terdiri dari rangkaian dipol linier dengan susunan berdampingan. Rangkaian dipol linier memiliki ukuran yang berbeda-beda dan pencatuan oleh saluran transmisi umum. Dimensi geometris unsur-unsur dalam LPDA mengikuti pola yang sangat spesifik.

Antena log-periodik (LPA) yang dicetak pada PCB memiliki banyak keunggulan, antara lain biaya produksi rendah, tingkat hasil tinggi, dan ringan. Karakteristik antena ini dapat berubah dengan logaritma frekuensi dan peningkatan lebar saluran.

Berikut ini analisa mengenai konfigurasi dari antena log periodik



Gambar 2. 8 Konfigurasi LPDA umum [12]

Keterangan :

- d_n = jarak antara elemen n dan n+1;
- a_n = jari-jari elemen n;

- l_n = setengah panjang elemen n ($n = 1,2,\dots,N$);
- L_n = panjang elemen n ($n = 1,2,\dots,N$);
- X_n = jarak elemen n ke puncak antena (virtual);
- 2α = Sudut puncak;

Parameter ini terkait melalui faktor jarak (σ) dan faktor penskalaan (τ) dan antena array meningkat secara logaritmik seperti yang didefinisikan oleh faktor penskalaan yang disajikan dalam persamaan berikut. [12]

$$\tau = \frac{l_{n+1}}{l_n} = \frac{X_{n+1}}{X_n} = \frac{d_{n+1}}{d_n} = \frac{a_{n+1}}{a_n}, \quad 1 \leq n \leq N \quad [2-11]$$

Seringkali jari-jari dipol tidak sepenuhnya mengikuti deret geometri. Biasanya, dipol memiliki radius yang sama. Selain itu, faktor spasi (σ) didefinisikan oleh: [3]

$$\sigma = \frac{d_n}{2L_n} \quad [2-12]$$

Sudut 2α adalah karakteristik dari struktur bebas frekuensi. Ini disebut sudut puncak dan berhubungan dengan τ dan σ . [12]

$$\tan(\alpha) = \frac{L_n}{2X_n} = \frac{L_n - L_{n+1}}{2d_n} = \frac{1 - \tau}{4\sigma} \quad [2-13]$$

10. Saluran Transmisi

Pada jenis saluran ini, sebuah garis langsung terhubung ke tepi dari patch mikrostrip seperti yang ditunjukkan pada Saluran mikrostrip tersebut lebih kecil jika dibandingkan dengan ukuran patch dan dalam hal ini saluran dapat dibuat satu sket dengan substrat yang sama dan teknik ini disebut struktur planar.[9]

11. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip adalah suatu konduktor metal yang menempel diatas bidang pentanahan (groundplane) yang di antaranya terdapat bahan dielektrik. Antena mikrostrip merupakan antena yang memiliki massa ringan dan mudah untuk dipabrikasi, dengan ukuran yang kecil dibandingkan dengan antena jenis lain, antena mikrostrip dapat dengan mudah ditempatkan di segala jenis permukaan dan mampu bekerja pada frekuensi yang sangat tinggi. Karena sifat yang di milikinya, antena

mikrostip sangat sesuai dengan kebutuhan saat ini sehingga dapat diintegrasikan pada device telekomunikasi yang berukuran kecil. [9]

Antena mikrostip dibuat dengan menggunakan sebuah substrat yang mempunyai tiga buah lapisan struktur dari substrat. Lapisan lapisan tersebut adalah

a. Trace atau Konduktor

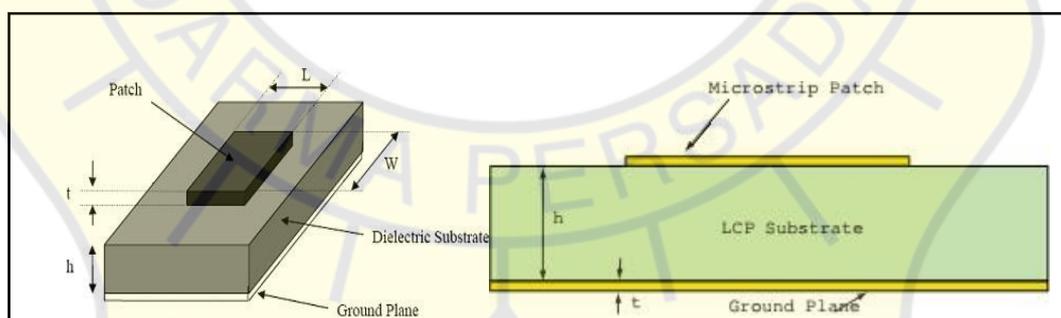
Trace ini yang di sebut juga patch, merupakan lapisan teratas dari substrat, lapisan ini yang biasanya terbuat dari konduktor. Konduktor umumnya terbuat dari bahan tembaga, alummunium, atau emas. Pada lapisan ini akan di bentuk menjadi suatu bentuk tertentu untuk mendapatkan suatu pola radiasi seperti yang diinginkan.

b. Dielektrik

Bagian tengah dari subtrat, pada lapisan ini di gunakan bahan dielektrik. Dielektrik dengan ketebalan $h < \lambda$ memiliki permitivitas relatif (ϵ_r) berkisar antara 2,2 hingga 10. Konstanta dielektrik dibuat rendah untuk meningkatkan medan limpahan yang berguna dalam radiasi.

c. Groundplane

Lapisan paling bawah dari substrat dinamakan groundplane, yang memiliki bentuk geometris sederhana, misalkan lingkaran, persegi panjang, segitiga atau bentuk lain yang berfungsi sebagai reflektor untuk memantulkan sinyal yang tidak diinginkan.

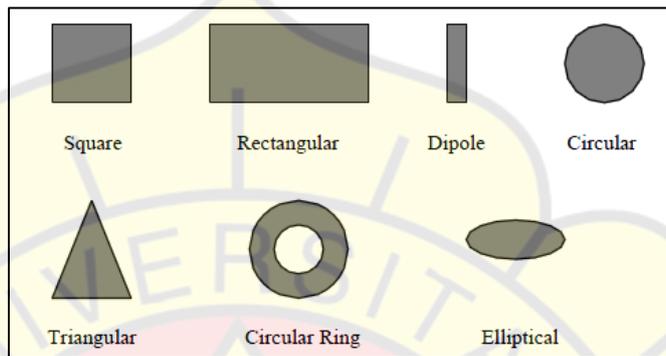


Gambar 2. 9 Struktur Antena Mikrostip tampak atas dan tampak samping

2.10.1 Mikrostip Patch Antena

Secara fundamental dari sebuah patch antena mikrostip terdiri dari sebuah patch dengan bentuk geometri planar pada satu sisi substrat dielektrik, serta bagian

pentanahan (grounding) pada sisi yang lain. Terdapat banyak pola patch untuk antena mikrostrip, namun pada dasarnya bentuk konfigurasi patch yang dapat digunakan di dalam merancang suatu antena mikrostrip seperti bujur sangkar, persegi empat, ring dan elip seperti ditunjukkan pada gambar 2.10. [9]



Gambar 2. 10 Bentuk geometri planar antena mikrostrip [9]

Bentuk struktur dari *patch* Triangular terhadap frekuensi osilasi (f_0) dipengaruhi oleh mode dominan propagasi gelombang *transverse magnetic* (TM_{mn}) dimana m dan n merupakan mode orde. Sehingga dimensi *patch* Triangular diperoleh melalui persamaan: [9]

$$f_r = \frac{ck_{mn}}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}}(m^2 + mn + n^2) \dots\dots\dots [2-14]$$

$$f_r = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots [2-15]$$

Dimana :

f_0 : frekuensi osilasi (Hz)

ϵ_r : konstanta dielektrik

c : kecepatan cahaya (3×10^8 m/s).

a : Panjang sisi patch segitiga

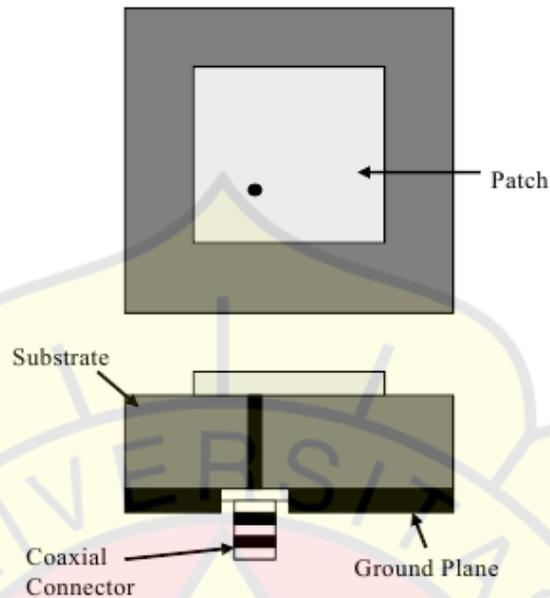
2.10.2 Teknik Pencatuan

Antena *patch* mikrostrip dapat diberikan saluran dengan berbagai metode. Metode ini dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori, yaitu kontak langsung dan kontak tidak langsung. Dalam kategori kontak langsung, daya transmisi radio frekuensi disalurkan langsung pada *patch* menggunakan elemen penyambung seperti saluran mikrostrip. Dalam skema saluran kontak tidak langsung, yaitu pengkoplingan medan elektromagnetik, dilakukan untuk mentransfer daya antara saluran mikrostrip dan *patch* yang diradiasi.[9]

Teknik pencatuan yang paling populer digunakan untuk kategori catuan kontak langsung adalah saluran catu mikrostrip dan probe koaksial, sedangkan untuk kategori catuan kontak tidak langsung yaitu *aperture coupling* dan *proximity coupling*. [9]

1. Probe Coaxial

Feed coaxial atau saluran probe adalah teknik yang sangat umum digunakan untuk saluran antena mikrostrip. Seperti yang terlihat dari Gambar 2.8, bagian dalam konduktor dari suatu konektor koaksial melewati bagian dielektrik substrat dan di solder pada *patch*, sedangkan bagian luar konduktor terhubung pada *groundplane*. [9]

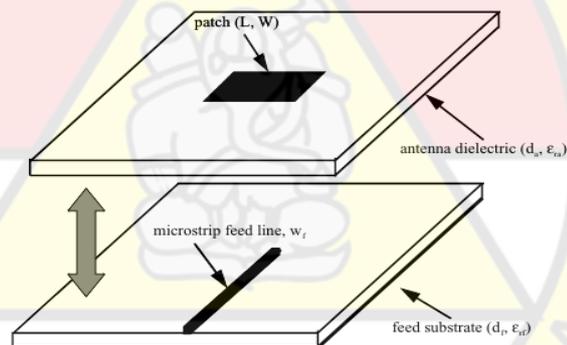


Gambar 2. 11 Skema pencatuan probe koaksial [9]

Keuntungan utama dari jenis saluran ini adalah saluran dapat ditempatkan pada lokasi sesuai kebutuhan di dalam *patch* untuk memperoleh *matching*. Saluran ini adalah metode yang mudah untuk dibuat dan memiliki sebaran radiasi yang rendah. Namun kelemahan utamanya adalah bahwa saluran ini bekerja pada *bandwidth* yang sempit dan cukup sulit dalam pabrikasinya, karena lubang harus dibor pada substrat dan konektor yang menonjol pada bagian luar *ground*, sehingga tidak membuat sepenuhnya planar untuk ketebalan substrat tertentu ($h > 0.02\lambda_0$). Juga untuk substrat yang lebih tebal, peningkatan panjang probe akan membuat impedansi masukan yang lebih induktif, menjadi masalah utama dalam *matching* impedansi. Hal ini terlihat di atas bahwa untuk substrat dielektrik tebal, yang menyediakan *broadband bandwidth*, saluran mikrostrip dan saluran koaksial mempunyai berbagai kelemahan. Maka untuk menjawab permasalahan tersebut di atas, solusi selanjutnya akan dibahas pada teknik pencatuan tidak langsung.[9]

2. Proximity Couple Feed

Jenis teknik saluran ini juga disebut sebagai skema kopling elektromagnetik. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.9, digunakan dua substrat dielektrik dan garis saluran diantara kedua substrat tersebut serta radiasi *patch* pada bagian atas untuk substrat bagian atas.[9] Keuntungan utama dari teknik ini adalah saluran dapat menghilangkan sebaran radiasi serta dapat memberi pengaruh *bandwidth* yang sangat tinggi, dikarenakan oleh kenaikan keseluruhan ketebalan *patch* mikrostrip antenna. Skema ini juga menyediakan pilihan antara dua bahan media dielektrik yang berbeda, satu untuk *patch* dan satu untuk saluran untuk mengoptimalkan performa dari fungsi masing-masing elemen.[9]



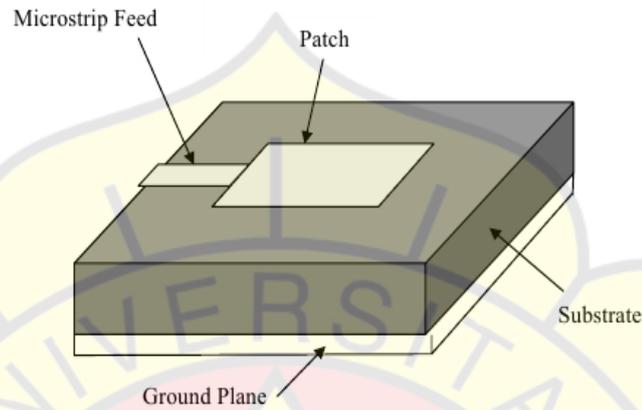
Gambar 2. 12 Skema pencatuan proximity couple [9]

Matching dapat dicapai dengan mengontrol panjang garis saluran dan lebar ke garis rasio *patch*. Kerugian utama dari skema saluran ini adalah sulit untuk pabrikan, karena penggabungan dua layer yang berbeda sehingga perlu penggabungan yang akurat. Juga ada peningkatan ketebalan dari keseluruhan struktur antenna.[9]

2.10.3 Saluran Transmisi

Pada jenis saluran ini, sebuah garis langsung terhubung ke tepi dari *patch* mikrostrip seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 Saluran mikrostrip tersebut lebih

kecil jika dibandingkan dengan ukuran *patch* dan dalam hal ini saluran dapat dibuat satu sket dengan substrat yang sama dan teknik ini disebut struktur planar.[9]



Gambar 2. 13 Skema pencatuan saluran microstrip [9]

Tujuan dari penyisipan *cut in* dalam *patch* ini adalah untuk menyesuaikan impedansi dari saluran terhadap *patch* tanpa memerlukan penambahan elemen penyesuai lainnya. Hal ini dapat dicapai dengan benar dengan melakukan kontrol yang tepat pada posisi salurannya. Hal ini merupakan skema pembuatan saluran yang mudah, karena memberikan kemudahan pabrikan dan kesederhanaan dalam pemodelan serta penyesuaian impedansi. Namun dengan ketebalan dielektrik substrat yang digunakan, gelombang permukaan dan penyebaran radiasi saluran juga meningkat, yang dapat menghambat *bandwidth* dari antenna. Radiasi saluran juga menghasilkan radiasi terpolarisasi yang tidak diinginkan.[9]

2.10.4 Konstanta Dielektrik Efektif

Analisa nilai parameter impedansi karakteristik dari mikrostrip secara dimensional dibatasi oleh nilai rasio antara lebar saluran konduktor dengan ketebalan dielektrikum bahan. Konstanta dielektrikum efektif diperlukan untuk menentukan hubungan bahan dari kedua dielektrikum yaitu substrat dan *patch* konduktor. Untuk

menentukan nilai konstanta dielektrikum efektif dapat dicari melalui persamaan berikut: [9]

Konstanta dielektrik efektif (ϵ_{reff}) untuk $w/h \geq 1$ digunakan persamaan:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1 + 12h}{w} \right)^{-1/2} \quad [2-16]$$

Dan konstanta dielektrik efektif (ϵ_{reff}) untuk $w/h \leq 1$ digunakan persamaan:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\left(\frac{1 + 12h}{w} \right)^{-1/2} + 0.04 \left(\frac{1 - 12h}{h} \right)^2 \right] \quad [2.17]$$

Dimana:

ϵ_{reff} : Konstanta dielektrik efektif

ϵ_r : Konstanta dielektrik

H : Ketebalan substrat

W : Lebar saluran transmisi

2.10.5 Karakteristik Impedansi

Salah satu parameter utama yang penting untuk diketahui pada suatu saluran mikrostrip adalah impedansi karakteristik (Z_0). Impedansi karakteristik, induktansi dan kapasitansi saluran transmisi ditentukan oleh besaran fisik saluran. Nilai impedansi karakteristik ditentukan oleh lebar saluran (w), ketebalan substrat (h), dan konstanta dielektrik (ϵ_r). Nilai impedansi karakteristik merupakan hambatan yang terjadi sepanjang saluran yang secara analisis dapat ditentukan melalui persamaan: [9]

Untuk $w/h \geq 1$ digunakan persamaan:

$$Z_0 = \frac{120\pi(\epsilon_{reff})^{-1/2}}{\frac{w}{h} + 1.393 + 0.667 \ln\left(1.444 + \frac{w}{h}\right)} \dots\dots\dots [2-18]$$

Dan untuk $w/h \leq 1$ digunakan persamaan:

$$Z_0 = 60(\epsilon_{\text{reff}})^{-1/2} \ln\left(\frac{8h}{w} + \frac{0.25w}{h}\right) \dots\dots\dots [2-19]$$

Dimana:

Z_0 : Impedansi karakteristik antena

ϵ_{reff} : Konstanta dielektrik efektif

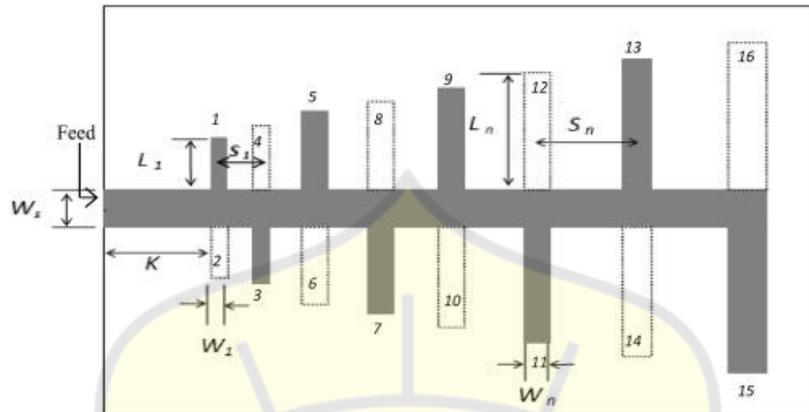
h : Ketebalan substrat

w : Lebar saluran transmisi

2.10.6 Microstrip Log Periodic Dipol Array

Desain antena Log Periodik Dipole Array konvensional adalah diusulkan oleh R.H. Du Hamel dan D.E. Isbell pada tahun 1957 untuk broadband aplikasi. The Printed Log Periodic Dipole Array (PLPDA) antenna disajikan oleh Campbell et al. pada tahun 1977. Mikrostrip struktur berbasis log periodik dipol array diperkenalkan pertama kali waktu menggunakan metode Carell yang di modifikasi. Nantinya geometri dasar strip line Log periodik dipol antenna diperkenalkan oleh Campbell et al. telah di modifikasi secara berurutan oleh beberapa penelitian untuk mencapai kinerja antena yang lebih baik dalam hal bandwidth besar, ukuran diperkecil/reduce size, rasio depan belakang lebih baik, low cross dan tingkat polarisasi dan gain yang lebih baik.

Kinerja Microstrip Log Periodik Dipole Array (MLDPA) terutama di tentukan oleh panjang, lebar, dan jarak antara antena dipol, faktor interleave, dan geometry constant τ



Gambar 2. 14 Konfigurasi Mikrostrip Log Periodik Dipole Array [13]

2.11.1. Menentukan Sudut

Sudut α adalah karakteristik dari struktur bebas frekuensi. Ini disebut sudut puncak dan berhubungan dengan τ dan α . [13]

$$\tan(\alpha) = \frac{1-\tau}{4\sigma} \quad [2-20]$$

2.11.2. Mencari Lebar Saluran W

Untuk mencari lebar saluran W akan diuraikan sebagai berikut: [13]

$$W = \frac{2h}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right] \quad [2-21]$$

Dimana nilai B dijabarkan dalam persamaan:

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad [2-22]$$

2.11.3. Menentukan Permittivitas Efektif

Untuk menentukan permitivitas efektif ϵ_{eff} dapat diperoleh dengan persamaan [2-16] dengan menentukan nilai dari tinggi substrat (h) dan lebar saluran (W)

2.11.4. Menentukan K_1 dan K_2

Dalam menentukan K_1 dan K_2 dapat dicari dengan menggunakan faktor skala. Dalam penggunaannya keduanya memiliki nilai yang berbeda. [13]

$$K_1 = 1,01 - 0,519 \times \tau \quad [2-23]$$

$$K_2 = (7,08 \times \tau^3) - (21,3 \times \tau^2) + (21,98 \times \tau) - 7,30 \quad [2-24]$$

2.11.5. Untuk menentukan jumlah elemen dipol (N) dapat ditentukan dengan

Dalam menentukan jumlah elemen dipole dapat dicari dengan menggunakan k_1 dan k_2 serta F_{min} dan F_{max} frekuensi dan τ . [13]

$$N = 1 + \frac{\log\left(\frac{K_2}{K_1}\right) + \log\left(\frac{f_{min}}{f_{max}}\right)}{\log \tau} \quad [2-25]$$

2.11.6. Menentukan setengah panjang Dipole

Untuk menentukan setengah panjang dipol pertama L_1 dapat ditentukan dengan nilai yang diperoleh K_1 , permitivitas efektif $\sqrt{\epsilon_{eff}}$, dan batas frekuensi minimum. [13]

$$L_1 = \frac{K_1 \times c}{2 \times \sqrt{\epsilon_{eff}} \times f_{min}} \quad [2-26]$$

Dimana :

L_1 = setengah panjang dipol pertama (mm)

c = kecepatan cahaya $3 \times 10^8 m$)

2.11.7. Menentukan jarak antar Dipole

Untuk mencari jarak antara dipol pertama (S_1) dapat ditentukan dengan faktor (σ) dan panjang dipol pertama (L_1). [13]

$$\sigma = \frac{S_n}{4 \times L_n} \quad [2-27]$$

2.11.8. Menentukan K jarak antar port ke elemen Dipole pertama

Berikut adalah untuk menentukan K yang menyatakan jarak antara port dan elemen dipol ke N. Persamaan K merupakan nilai yang dipengaruhi oleh permitivitas efektif ($\sqrt{\epsilon_{eff}}$) dan frekuensi maksimum (f_{max}). [13]

$$S_N = K = \frac{c}{4 \times \sqrt{\epsilon_{eff}} \times f_{max}} \quad [2-28]$$

2.11.9. Menentukan lebar Dipole

Lebar elemen dipole W_n dapat ditentukan terlebih dahulu nilai dari radius dipol (a_n) untuk impedansi karakteristik umumnya bernilai 50Ω yang mana akan menentukan. [13]

$$a_1 = \frac{L_1}{\left(e^{\left(\frac{Z_0}{120}\right)+2,25}\right)} \quad [2-29]$$

$$w_1 = a_1 \times \pi \quad [2-30]$$

Dimana :

a_1 = radius dipol pertama (mm)

Z_0 = impedansi karakteristik (Ω)

$\pi = 3,14$

Setelah menentukan panjang dan lebar elemen dipol pertama dari persamaan, panjang lebar, dan jarak lainnya, dapat dihitung dari persamaan scale faktor seperti yang diberikan oleh persamaan. [13]

$$\tau = \frac{L_{n+1}}{L_n} = \frac{S_{n+1}}{S_n} = \frac{w_{n+1}}{w_n}, \quad 1 \leq n \leq N \quad [2-31]$$

Dibawah ini adalah data tabel Optimasi directivity/dBi untuk antenna Log Periodic

Tabel 2. 3 Data Optimasi directivity/dBi untuk antenna Log Periodic

Directivity/dBi	Scaling factor τ	Spacing factor σ	Apex angle α
7	0,782	0,138	21,5°
7,5	0,824	0,146	16,77°
8	0,865	0,157	12,13°
8,5	0,892	0,165	9,29°
9	0,918	0,169	6,91°
9,5	0,935	0,174	5,33°
10	0,943	0,179	4,55°
10,5	0,957	0,182	3,38°
11	0,964	0,185	2,79°