

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Kemudian, untuk menunjang penelitian yang dilakukan diperlukan tinjauan pustaka yang berisi teori-teori yang mendukung dan terkait dengan topik penelitian yang dilakukan. Tinjauan pustaka yang digunakan dipaparkan sebagai berikut.

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada tulisan ini, dicantumkan beberapa hasil penelitian terdahulu yang akan digunakan sebagai acuan dan perbandingan terhadap penelitian yang dilakukan. Hasil penelitian-penelitian tersebut disajikan dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No.	Pengarang	Judul	Hasil
1	Cahya E. Santosa, dkk.	<i>Development of a Low Profile Wide-Bandwidth Circularly Polarized Microstrip Antenna for C-band Airborne CP-SAR Sensor (2018) [4]</i>	Antena memiliki frekuensi resonansi 5.3 GHz dengan polarisasi sirkuler. Desain antena yang dibuat menggunakan 2 lapis substrat, dan elemen parasitik untuk mencapai IBW sebesar 1100 MHz dan ARBW sebesar 250 MHz, dengan gain 7 dBic.
2	Nitika Aggarwal, dkk.	<i>Compact Ultra-wideband Microstrip Patch Antenna for C and X Band Applications (2013) [5]</i>	Desain antena yang dibuat beroperasi pada frekuensi 4.8 GHz hingga 12.6 GHz. <i>Bandwidth</i> yang dihasilkan mencapai hingga 7.8 GHz.
3	A.G. Koutinos, dkk.	<i>Bandwidth enhancement of antennas designed by band-pass filter synthesis due to frequency pulling techniques (2022) [6]</i>	Teknik peningkatan <i>bandwidth</i> dari antena menggunakan metode <i>frequency pulling</i> (FP) yang mirip dengan metodologi desain <i>insertion loss</i> pada <i>bandpass</i> filter.
4	Bindhu H. R., M. N. Sujatha	<i>Wideband slot antenna gain enhancement using metasurface reflector (2021) [7]</i>	Desain antena yang dipakai adalah bentuk <i>concentric square and circular loop reflector</i> (SCLMR). Struktur terdiri atas <i>loop</i> persegi dan sirkuler untuk resonan. Rentang frekuensi operasional yang diperoleh adalah 2.76 – 8.41 GHz. Dengan SCLMR mendapatkan nilai gain 8.75 dBi.
5	K. Mahendran, dkk.	<i>Design of multi band triangular microstrip patch antenna with triabngluar split ring resonator for S band, C band and X band applications (2021) [8]</i>	Desain antena menggunakan bentuk segitiga dengan <i>split ring</i> yang berbentuk segitiga sebagai resonator yang mampu beroperasi pada 3 pita frekuensi. Pada frekuensi 5.6 GHz didapatkan hasil parameter S_{11} sebesar -19.54 dB untuk aplikasi WLAN.

2.2 Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar (CP-SAR)

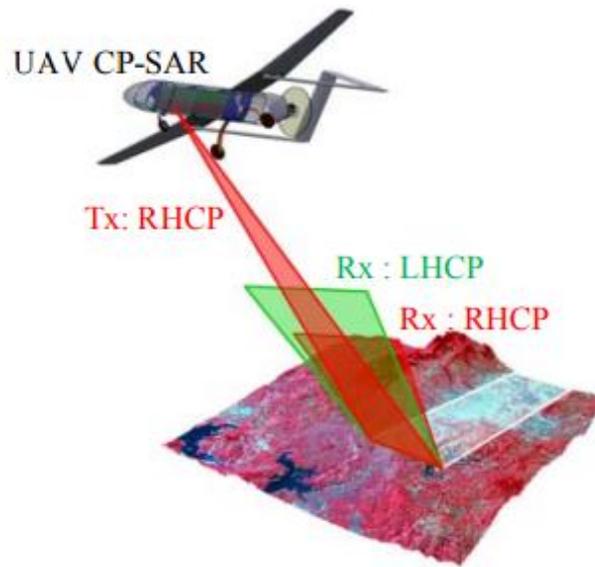
CP-SAR merupakan salah satu perangkat yang bekerja menggunakan prinsip dasar dari *Radio Detection and Ranging* (RADAR). Sebelum adanya CP-SAR, teknologi SAR masih menggunakan polarisasi linear [9] [10], yang mana sudah diterapkan untuk sensor di satelit [11], pesawat terbang [12], dan pesawat tanpa awak [13].

Teknologi SAR cocok digunakan untuk aplikasi pengindraan jauh, dan dengan pemilihan frekuensi operasi, sinyal gelombang mikro memiliki kapabilitas untuk menembus awan, dapat digunakan di segala cuaca, dan karena memiliki polarisasi sirkuler, tidak terpengaruh efek *Faraday's Rotation* [14]. SAR termasuk ke dalam kategori sensor aktif, yang berarti sensor mengirimkan gelombang dari antena pemancar, dan juga menerima gelombang hamburan yang mengenai objek kembali ke antena penerima.

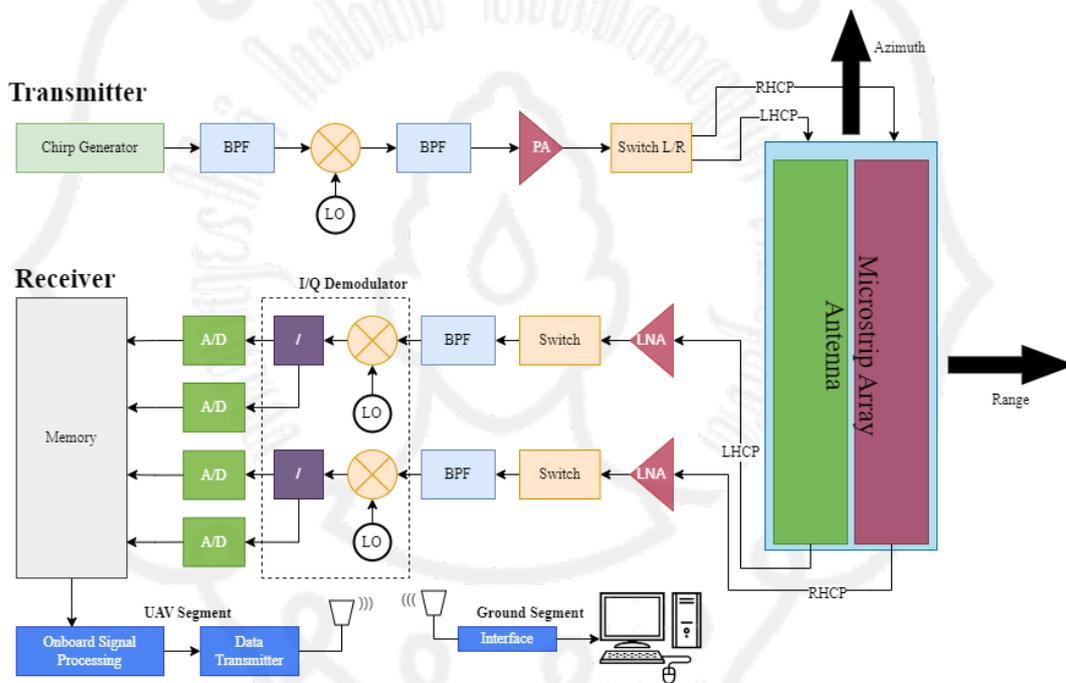
Gambar 2.1 menggambarkan cara kerja SAR dalam aplikasi pengindraan jauh. SAR dipasangkan pada sebuah wahana, *airborne* atau *spaceborne*, yang akan melintasi sebuah wilayah objek yang akan dilakukan observasi, lalu menembakkan sinyal *microwave* ke objek dengan antena *transmitter*, lalu antena penerima akan menerima sinyal hamburan yang dipantulkan dari objek.

Secara umum, sistem CP-SAR terdiri atas bagian penghasil sinyal (*signal generator*), bagian transmisi atau penerimaan RF, bagian pemrosesan sinyal (*signal processing*), dan bagian komunikasi. Bagian transmisi terdiri atas *chirp generator*, *bandpass filter* (BPF), *local oscillator* (LO), *power amplifier* (PA), *switch* untuk mengganti mode untuk *right handed circular polarization* (RHCP) dan *left handed circular polarization* (LHCP), dan antena CP yang mampu mentransmisikan *chirp pulse* dalam RHCP atau LHCP.

Sedangkan pada bagian penerimaan, terdiri atas antena CP yang mampu menerima gelombang hamburan RHCP maupun LHCP, *low noise amplifier* (LNA), BPF, *I/Q Demodulator* untuk menghasilkan data *in-phase* dan *quadrature*, *analog-to-digital converter* (ADC), memori untuk pemrosesan sinyal, dan *onboard signal processing* (OSP). Diagram blok untuk sistem CP-SAR ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.1 Cara kerja CP-SAR [12]



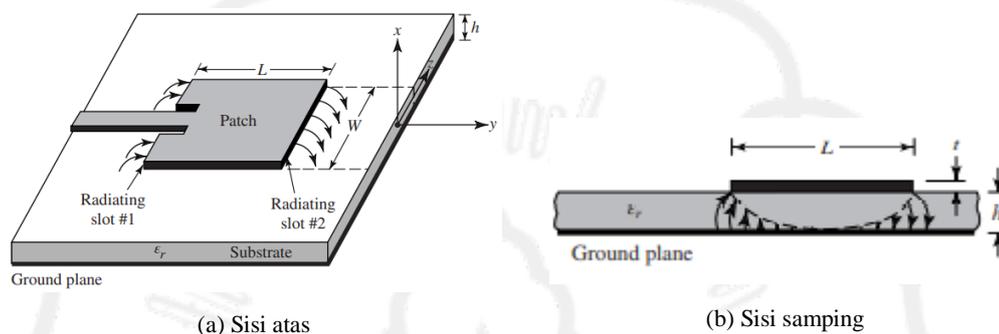
Gambar 2.2 Diagram blok sistem CP-SAR [14]

2.3 Antena Mikrostrip

Antena merupakan komponen yang didesain untuk memancarkan dan atau menerima gelombang elektromagnetik. Antena pemancar tersusun atas komponen-komponen yang bertanggung jawab untuk mengubah *guided wave* di dalam saluran transmisi kabel menjadi gelombang yang merambat di ruang bebas atau sebaliknya, antena penerima mengubah gelombang ruang bebas menjadi *guided wave* [15].

Antena dikategorikan menjadi beberapa jenis tergantung pada bentuk dan aplikasinya, seperti antena Yagi, antena *horn*, antena mikrostrip, ataupun jenis antena lainnya. Aplikasi antena pada RADAR lebih banyak menggunakan antena jenis mikrostrip.

Dalam aplikasinya, antena mikrostrip memiliki beberapa keunggulan seperti berbentuk tipis, biaya rancang desain rendah, dan penyesuaian frekuensi menjadi sederhana [16]. Namun, antena mikrostrip memiliki beberapa kekurangan seperti gain yang terbatas, *bandwidth* yang kecil, dan sinyal yang dipancarkan relatif memiliki daya rendah.

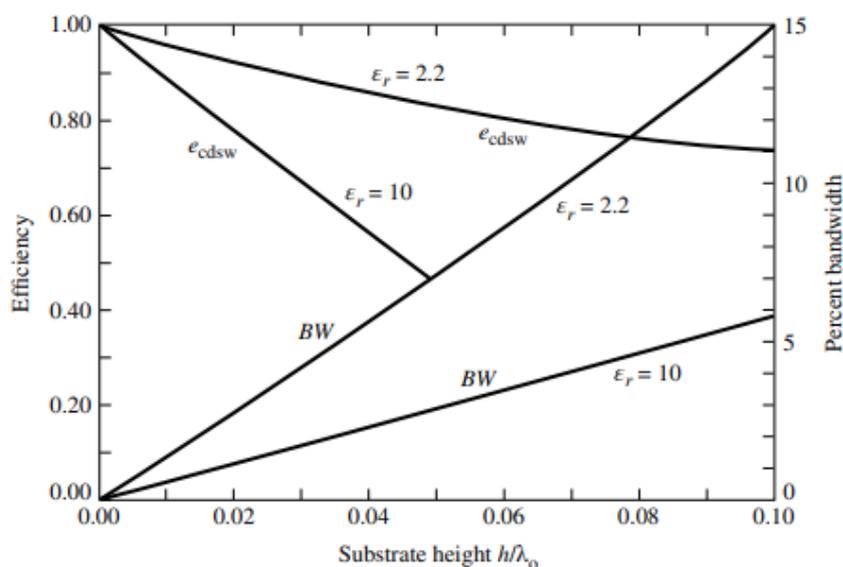


Gambar 2.3 Antena mikrostrip [17]

Antena mikrostrip, yang ditunjukkan pada gambar 2.3, terdiri atas *patch* tipis ($t \ll \lambda_0$, di mana λ_0 adalah panjang gelombang di ruang hampa) yang berada di atas bagian *ground*. Bagian *patch* dan *ground* dipisahkan oleh lembaran dielektrik yang disebut substrat [17].

Dalam perancangan sebuah antena mikrostrip, bagian substrat berperan penting dalam memperoleh desain antena yang memiliki performa yang andal. Substrat merupakan sebuah bahan yang terbuat dari PTFE (*polytetrafluorethylene*). Substrat memiliki sebuah konstanta dielektrik (ϵ_r), dan ketebalan yang berpengaruh terhadap performa sebuah antena.

Dari referensi [18], disebutkan bahwa ϵ_r dan ketebalan substrat berpengaruh terhadap efisiensi antena dan *bandwidth* yang akan dihasilkan oleh antena yang dirancang. Hal ini ditunjukkan dalam gambar 2.4.



Gambar 2.4 Grafik efisiensi dan *bandwidth* terhadap ketebalan substrat [18]

Berdasarkan gambar 2.4, sebuah substrat pada antenna mikrostrip akan mempengaruhi besar *bandwidth* dan efisiensi dari antenna itu sendiri. Semakin rendah nilai ϵ_r , dan semakin tebal substrat maka akan menghasilkan antenna dengan *bandwidth* yang lebih luas, dan efisien.

2.4 Circularly Polarized Antenna

Pada sub bab 2.2 CP-SAR telah disebutkan keunggulan dari polarisasi sirkuler. Polarisasi berhubungan dengan orientasi medan listrik yang dipancarkan oleh antenna. Untuk mendapatkan polarisasi sirkuler, dibutuhkan dua komponen medan listrik yang saling ortogonal. Berdasarkan persamaan yang disebutkan oleh Gao [19] medan listrik yang dipancarkan antenna diekspresikan dalam persamaan (2.1).

$$\vec{E}(\theta, \varphi) = \vec{\theta} E_{\theta}(\theta, \varphi) e^{j\phi_1} + \vec{\varphi} E_{\varphi}(\theta, \varphi) e^{j\phi_2} \quad (2.1)$$

Di mana :

$E_{\theta}(\theta, \varphi)$: Besaran medan listrik dalam arah θ

$E_{\varphi}(\theta, \varphi)$: Besaran medan listrik dalam arah φ

ϕ_1 : Pergeseran sudut fasa 1

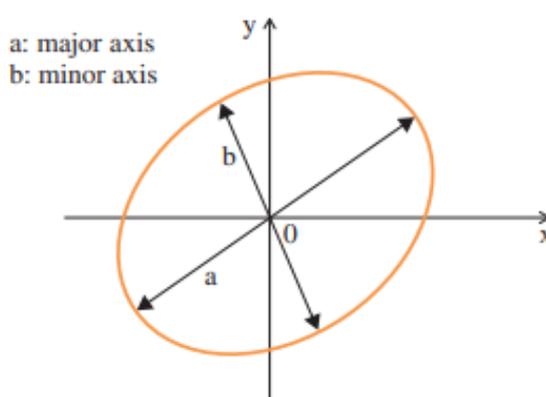
ϕ_2 : Pergeseran sudut fasa 2

Syarat untuk mendapatkan antenna polarisasi sirkuler, besaran medan listrik yang dipancarkan oleh antenna dalam arah θ di medan jauh (*far field*) harus sama dengan medan listrik dalam arah φ , dan perbedaan sudut fasa antar 2 komponen ortogonal tersebut sebesar 90° [19].

$$E_{\theta}(\theta, \varphi) = E_{\varphi}(\theta, \varphi)$$

$$\phi_2 - \phi_1 = \pm \frac{\pi}{2} \quad (2.2)$$

Gelombang polarisasi sirkular yang berpropagasi dalam ruang memiliki vektor medan listrik yang diekspresikan dalam fungsi waktu memiliki bentuk lingkaran. Arah rotasi vektor medan listrik dapat ditentukan dengan mengamati arah rotasi temporal dari medan seiring gelombang diamati di sepanjang arah propagasi gelombang. Gambar 2.5 menunjukkan polarisasi elips dari gelombang yang dilihat pada posisi tertentu sebagai fungsi waktu [19].



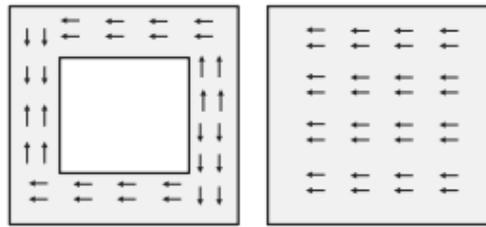
Gambar 2.5 Propagasi Gelombang Polarisasi Sirkular dalam Fungsi Waktu [19]

Dalam memicu gelombang yang dihasilkan antenna agar memiliki polarisasi sirkular, bagian *patch* antenna dapat diubah bentuk geometrinya menjadi seperti pada gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6 Model Geometri *Patch* Antena Polarisasi Sirkular [19]

Desain geometri yang ditunjukkan pada gambar 2.6 menggambarkan ukuran *patch* antenna yang diperkecil dengan memberikan potongan di tengahnya, yang membuat *patch* seperti cincin. Hal ini akan menyebabkan propagasi arus listrik memiliki arah yang memutar di sepanjang area *patch* yang tersisa, dan dapat diilustrasikan pada gambar 2.7 [19].



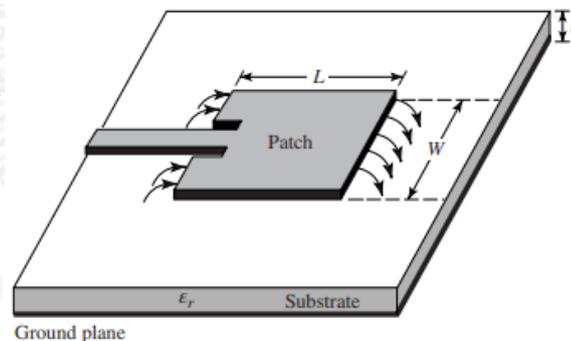
Gambar 2.7 Propagasi arus listrik pada *patch* yang dimodifikasi bagian tengahnya [19]

2.5 Teknik Feeding

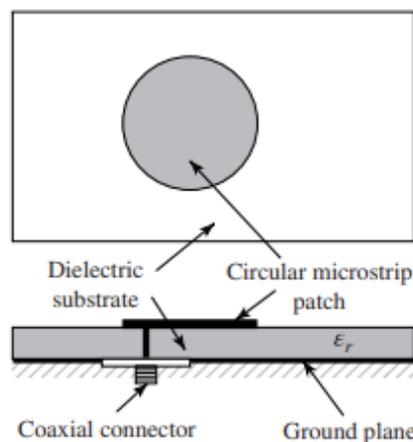
Ada banyak cara dan konfigurasi yang dapat digunakan untuk melakukan *feeding* ke antenna mikrostrip. *Feeding* merupakan pengaliran arus listrik bolak-balik (AC) ke antenna. Metode *feeding* yang paling populer digunakan yaitu: *microstrip line*, *coaxial probe*, *aperture coupling*, dan *proximity coupling*.

a. Microstrip Line

Teknik *feeding* ini, strip konduktor dihubungkan langsung berada di tepi *patch*. Strip konduktor lebarnya lebih kecil dibandingkan dengan *patch* dan pengaturan *feed* semacam ini memiliki keuntungan bahwa *feed* dapat *etched* pada substrat yang sama untuk menghasilkan struktur planar [20].



Gambar 2.8 Metode *feeding* jenis *microstrip line*



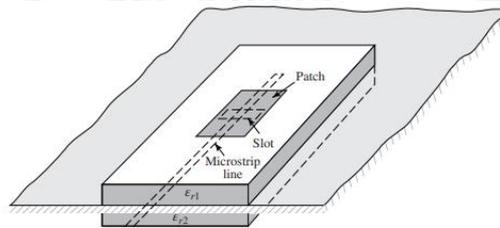
Gambar 2.9 Metode *feeding* jenis *coaxial probe*

b. *Coaxial Probe*

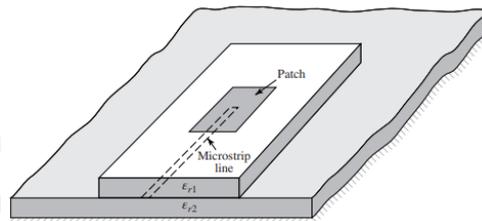
Teknik *feeding* ini adalah teknik yang digunakan untuk memberi *feed* di mana konduktor bagian dalam dari konektor *coaxial* memanjang melalui dielektrik dan disolder ke *patch* pemancar, sedangkan konduktor luar dihubungkan ke *ground plane* [20].

c. *Aperture Coupling*

Jenis teknik *feed* ini, *patch* radiasi dan *feedline* mikrostrip dipisahkan oleh *ground plane*. Kopling antara tambalan dan *feedline* dibuat melalui celah atau lubang di *ground plane*. Kerugian dari teknik *feeding* ini adalah sulit untuk membuat karena banyak lapisan, yang juga meningkatkan ketebalan antenna. Skema *feeding* ini juga menyediakan *bandwidth* yang kecil [20].



Gambar 2.10 Metode *feeding* jenis *aperture-coupled feed*



Gambar 2.11 Metode *feeding* jenis *proximity-coupled feed*

d. *Proximity Coupling*

Jenis teknik *feeding* ini juga disebut sebagai skema kopling elektromagnetik. Dua substrat dielektrik digunakan sedemikian rupa sehingga *feedline* berada di antara dua substrat dan bidang radiasi berada di atas substrat atas. Keuntungan utama dari teknik *feeding* ini adalah menghilangkan radiasi *false feed* dan memberikan *bandwidth* yang tinggi (hingga 13%), karena keseluruhan peningkatan ketebalan antenna *patch* mikrostrip. Skema ini juga menyediakan pilihan antara dua media dielektrik yang berbeda, satu untuk tambalan dan satu lagi untuk *feedline* untuk mengoptimalkan kinerja individu [20].

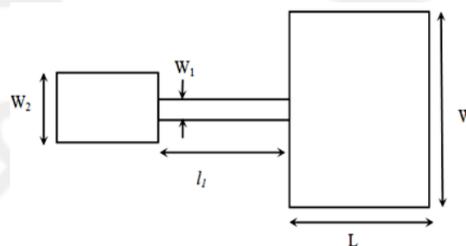
2.6 Impedance Matching

Impedance matching berguna untuk mencocokkan kedua impedansi yang berbeda antara *input* dari antenna dan impedansi muatan. Apabila impedansi pada antenna tidak sesuai dengan impedansi sumber, maka akan terjadi impedansi kompleks yang merupakan fungsi dari panjang saluran. *Impedance matching* sangat penting karena impedansi antenna dapat diubah bergantung pada sifat listrik, ukuran, dan jarak objek yang berdekatan yang dipasang di antenna [21].

Apabila terjadi ketidaksesuaian impedansi antara saluran transmisi dan *patch* dari antenna, maka gelombang yang dipancarkan dari antenna tidak akan efisien dan akan terjadi rugi-rugi. Akibat dari peristiwa ini adalah *bandwidth* yang dihasilkan oleh antenna menjadi sangat kecil, gain yang juga menjadi lebih kecil, dan polarisasi dari antenna juga berubah karena nilai ARBW yang berada di atas 3 dB [22] [23], dan batas *axial ratio* 3 dB (*3 dB threshold*) merupakan sebuah parameter yang menunjukkan kemampuan sebuah antenna dalam mempertahankan polarisasi sirkuler di sepanjang pita frekuensi. Nilai impedansi pada antenna dipengaruhi oleh ukuran saluran transmisi dan *patch* dari antenna.

Nilai *input impedance* antenna mikrostrip sama dengan impedansi muatan dengan menggunakan transformator $\lambda/4$, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12 [24]. Persamaan *impedance matching* dapat ditulis seperti berikut,

$$Z_t = \sqrt{Z_{in} \times Z_l} \quad (2.3)$$



Gambar 2.12 Transformator $\lambda/4$ [24]

2.7 Fringing Effect

Dalam antenna mikrostrip dapat dimodelkan sebagai dua buah konduktor – *patch* dan *groundplane* – yang digabungkan menjadi sebuah saluran yang dipisahkan oleh substrat yang memiliki sebuah konstanta dielektrik (ϵ_r). Konduktor pada saluran transmisi tidak bersifat penghantar magnetik sempurna sehingga medan elektromagnetik yang dihasilkan tidak sepenuhnya tegak lurus terhadap

patch ataupun *groundplane*. Fenomena ini disebut *fringing effect*, dan ditunjukkan pada gambar 2.13 berikut [17].

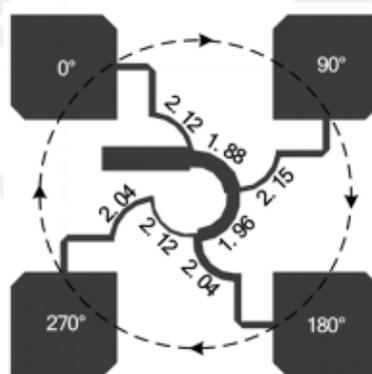


Gambar 2.13 *Fringing Effect* pada saluran transmisi [17]

2.8 Teknik *Array*

Dalam bidang perancangan antenna, sebuah antenna dapat ditingkatkan kualitas performanya dengan mengimplementasikan teknik susun, atau *array*, yang menerapkan *patch* antenna dibuat menjadi lebih dari satu elemen dengan tujuan meningkatkan parameter, seperti *bandwidth* dan *gain*. Teknik *array* ini memiliki ketentuan pada peletakan tiap elemen *patch* yang akan disusun, dan semua *patch* dihubungkan dengan saluran transformator untuk memberikan daya yang sama besar ke masing-masing *patch* [25].

Dalam penerapan ke antenna polarisasi sirkuler, teknik *array* yang digunakan adalah *sequential serial rotation* (SSR). Hal ini disebabkan teknik ini mewajibkan semua elemen *patch* diputar dengan sudut akumulasi 360° untuk total elemen. Serta tiap elemen harus memiliki perbedaan fasa 90° untuk mempertahankan kemampuan menghasilkan gelombang dengan polarisasi sirkuler [12] [26].



Gambar 2.14 Teknik SSR untuk antenna *array* [26]

2.9 *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV)

Pesawat tanpa awak, atau disebut *unmanned aerial vehicle* (UAV), merupakan sebuah wahana terbang yang dapat beroperasi tanpa pilot, maupun penumpang di dalam wahana. Pengaplikasian UAV ini telah berkembang pesat, dan biasa

digunakan untuk aplikasi bidang militer. Pada awalnya, UAV dikembangkan pada abad ke-20 untuk misi militer yang terlalu berbahaya untuk manusia, dan saat ini menjadi aset yang esensial bagi dunia militer.

Seiring perkembangan teknologi, kemampuan kontrol untuk UAV semakin meningkat, dengan biaya yang semakin rendah untuk dilakukan produksi. Sehingga kegunaan UAV merambah ke berbagai bidang non-militer seperti pemantauan kebakaran hutan [27], pengindraan jauh (*remote sensing*) [12], pengiriman barang [28], agrikultur [29], fotografi, dan lain-lain.



Gambar 2.15 UAV Quadcopter
Sumber: dji.com

Berdasarkan Departemen Pertahanan Amerika Serikat, UAV dapat diklasifikasikan menjadi 5 kategori dari beberapa parameter seperti ukuran, kecepatan, dan *normal operating altitude* [30]. Klasifikasi tersebut dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Klasifikasi UAV

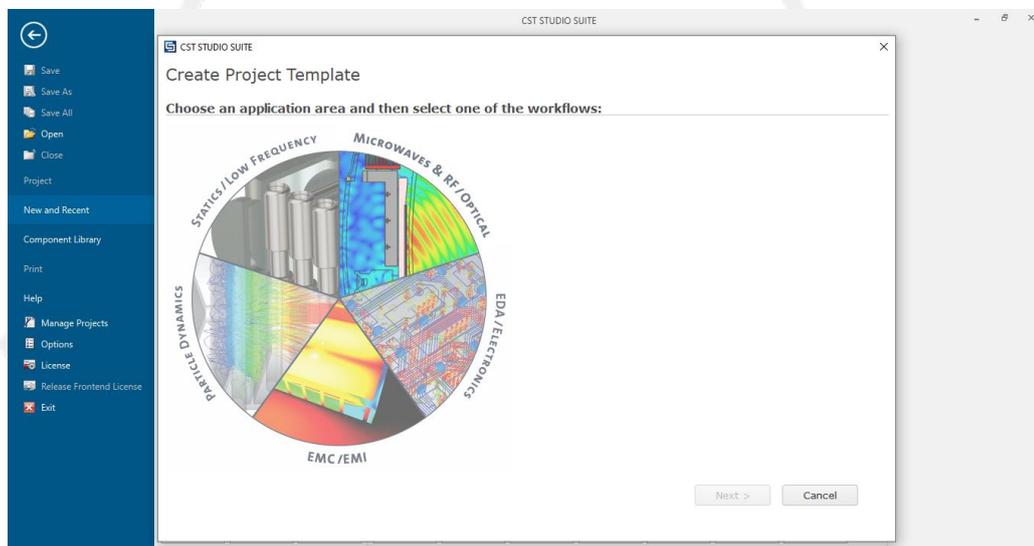
Kategori	Ukuran	<i>Maximum Gross Takeoff Weight</i>	<i>Normal Operating Altitude</i>	Kecepatan
Group 1	<i>Small</i>	< 9,1 kg	< 370 m	< 190 km/h
Group 2	<i>Medium</i>	9,1 – 25 kg	< 1100 m	< 460 km/h
Group 3	<i>Large</i>	25 – 598,74 kg	< 5500 m	< 460 km/h
Group 4	<i>Larger</i>	> 598,74 kg	< 5500 m	<i>Any speed</i>
Group 5	<i>Largest</i>	> 598,74 kg	> 5500 m	<i>Any speed</i>

2.10 CST Studio Suite 2019

CST Studio Suite 2019 merupakan perangkat lunak yang dipakai dalam proses mendesain antena yang diajukan sebagai topik Tugas Akhir. *Software* ini merupakan perangkat lunak analisis medan elektromagnetik (EM) 3D yang digunakan untuk mendesain, menganalisis, dan melakukan optimasi komponen dan sistem elektromagnetik.

Software ini memiliki fitur *solver* untuk medan elektromagnetik di sepanjang spektrum frekuensi EM yang digabungkan dalam sebuah antarmuka. *Solver* dapat dikopel untuk melakukan simulasi hibrid, yang memudahkan *engineer* fleksibilitas untuk menganalisis keseluruhan sistem yang terdiri atas banyak komponen dalam cara yang efisien.

Bidang yang umum digunakan dalam analisis EM yang bisa dilakukan menggunakan CST Studio Suite 2019 di antaranya adalah analisis performa dan efisiensi antena dan filter, *electromagnetic compatibility and interference* (EMC/EMI), efek elektro-mekanik pada motor dan generator, dan efek termal pada perangkat berdaya tinggi [31].



Gambar 2.16 Tampilan awal CST Studio Suite 2019