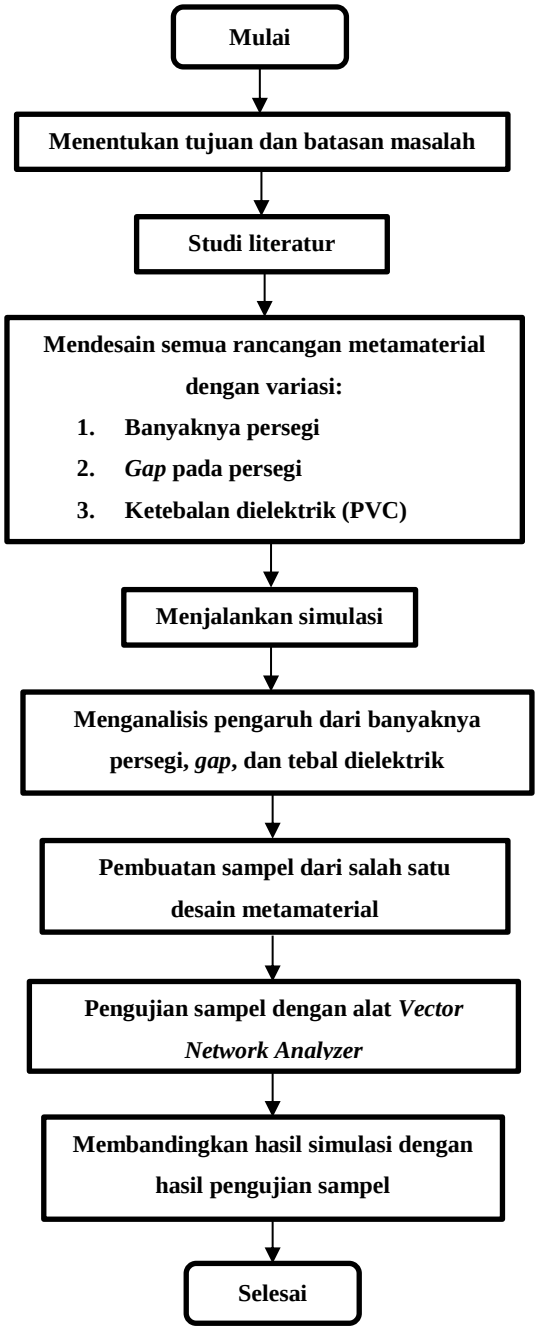
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir penelitian

Adapun diagram alir pada penelitian kali ini dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Rekayasa Material Institut Teknologi Sumatera. Penelitian berlangsung selama bulan Mei hingga Juni 2021.

3.3 Rencana Kegiatan Penelitian

Selama pelaksanaannya, penelitian ini memiliki rencana kegiatan. Adapun rencana kegiatan penelitian yang akan peneliti lakukan tertera dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rencana kegiatan penelitian

Kegiatan	Minggu Ke-																				
	Februari			Maret				April				Mei				Juni				Juli	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Persiapan																					
Studi Literatur																					
Penyusunan Proposal TA																					
Seminar Proposal																					
Perbaikan																					
Kegiatan Penelitian																					
Mengurus Perizinan Penelitian																					
Pembuatan Metamaterial (CST)																					
Pengujian Metamaterial (CST)																					
Pembuatan Sampel																					
Pengujian Sampel																					
Analisis Hasil Pengujian																					
Hasil Akhir																					
Penyusunan Laporan Hasil TA																					
Sidang TA																					
Perbaikan dan Pembuatan Buku TA																					

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Alat Penelitian

Adapun alat penelitian yang digunakan pada penelitian kali ini ialah sebagai berikut:

a. Perangkat komputer/laptop

Laptop penulis gunakan untuk mendesain metamaterial dan melakukan simulasi pada perangkat lunak CST *Studio Suite* . Selain itu, penulis juga menggunakan laptop untuk melakukan analisis awal bagaimana metamaterial buatan penulis

menerima respons gelombang elektromagnetik di rentang frekuensi 2,0 – 4,0 GHz.

b. Alat uji *Vector Network Analyzer*

Vector Network Analyzer merupakan alat yang dapat mengirim dan menerima gelombang elektromagnetik dari dan hingga rentang frekuensi tertentu. Alat ini penulis gunakan untuk melihat bagaimana reaksi metamaterial yang telah dibuat dalam menerima gelombang elektromagnetik.

Gambar 3.2 Alat uji *vector network analyzer*

c. Mesin 3D *Printer*

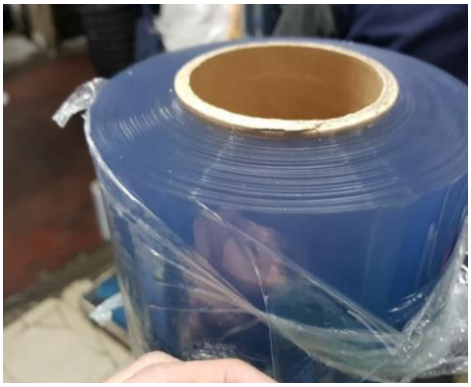
Mesin 3D *Printer* digunakan untuk membuat cetakan sampel metamaterial. Karena metamaterial pada penelitian ini memiliki bentuk yang cukup rumit dan dalam dimensi yang tidak besar, maka dibutuhkan sebuah cetakan untuk membuat sel satuan metamaterial sesuai yang diinginkan.

3.4.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan penelitian yang digunakan pada penelitian kali ini ialah sebagai berikut:

a. PVC Fleksibel

PVC dengan struktur yang fleksibel penulis gunakan dengan harapan metamaterial dapat melekat pada badan pesawat.



Gambar 3.3 PVC fleksibel

b. Aluminium foil

Aluminium foil digunakan sebagai *ground plane* (lapisan dasar) metamaterial. Penggunaan aluminium foil juga dapat mengganti keberadaan metal pada badan pesawat.

c. Tinta silver konduktif (*conductive silver ink*)

Tinta silver konduktif digunakan sebagai material silver pada penelitian. Bahan ini dipilih karena dapat melekat dengan baik pada material PVC fleksibel.

Gambar 3.4 Tinta silver konduktif

d. Filamen ABS

Filamen ABS digunakan sebagai bahan dalam membuat cetakan metamaterial. Cetakan tersebut akan digunakan dalam membuat sampel metamaterial.

3.5 Sel Satuan Metamaterial

3.5.1 Panjang Sel Satuan

Metamaterial yang digunakan pada penelitian kali ini memiliki panjang sel satuan tertentu. Rentang frekuensi yang digunakan pada penelitian kali ini adalah 2,0 GHz hingga 4,0 GHz. Adapun cara mencari panjang sel satuan pada penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

$$c = \lambda \, . \, f \tag{3.1}$$

dimana c adalah kecepatan cahaya ($c = 3\times10^8$ m/s), λ adalah panjang gelombang (m), dan f adalah frekuensi (Hz). Dari persamaan **3.1**, maka untuk mencari panjang gelombang pada rentang frekuensi tertentu didapat dengan:

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{3.2}$$

Pada frekuensi 2,0 GHz, panjang gelombangnya adalah:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \; m/s}{2 \times 10^9 \; Hz} = \mathbf{0,15} \; \boldsymbol{m} = \mathbf{15} \; \boldsymbol{cm}$$

Sementara pada frekuensi 4,0 GHz, panjang gelombangnya adalah:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \; m/s}{4 \times 10^9 \; Hz} = \mathbf{0,075} \; \boldsymbol{m} = \mathbf{7,5} \; \boldsymbol{cm}$$

Maka rentang panjang gelombang pada penelitian ini dari **7,5 – 15 cm**. Untuk panjang sisi metamaterial yang digunakan, persamaan yang digunakan adalah:

$$\boldsymbol{s} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{10}} \boldsymbol{\lambda_1} \; hingga \; \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}} \boldsymbol{\lambda_2} \tag{3.3}$$

dimana s adalah panjang sisi metamaterial, λ_1 adalah panjang gelombang batas bawah (yaitu 7,5 cm), dan λ_2 adalah panjang gelombang batas atas (yaitu 15 cm). Persamaan 3.3 merupakan persamaan perkiraan untuk menentukan panjang sisi ideal metamaterial yang dapat bekerja di frekuensi tertentu. Maka, *range* panjang sisi metamaterial yang digunakan pada penelitian ini adalah:

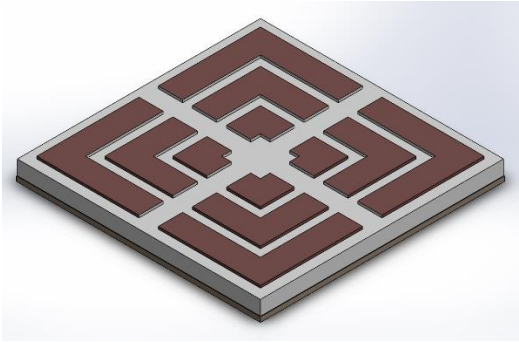
$$s_1 = \frac{1}{10} \times 7{,}5\ cm = 0{,}75\ cm = \mathbf{7{,}5\ mm}$$

$$s_2 = \frac{1}{2} \times 15\ cm = 7{,}5\ cm = \mathbf{75\ mm}$$

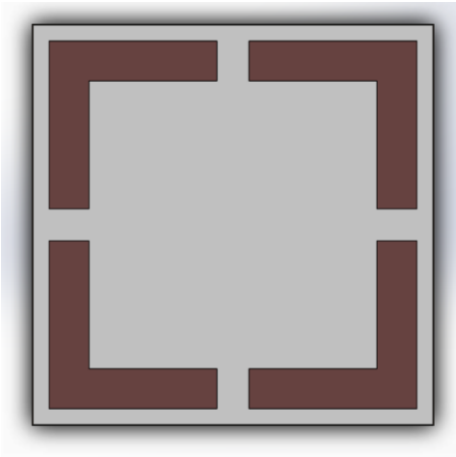
Karena batas sisi metamaterial idealnya adalah 7,5 – 75 mm, penulis memutuskan untuk membuat metamaterial di penelitian ini dengan panjang sisi **s = 50 mm**.

3.5.2 Bentuk sel satuan

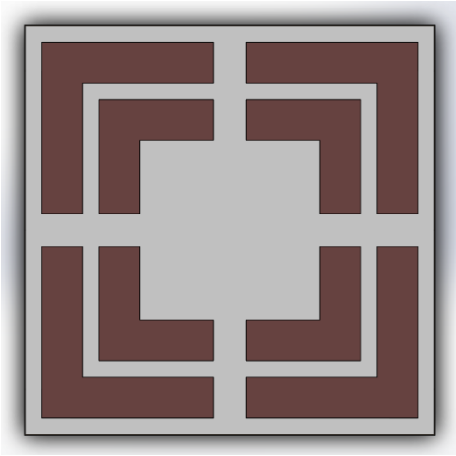
Bentuk sel satuan pada penelitian ini terinspirasi oleh bentuk unit sel metamaterial yang telah didesain Chung pada Gambar 2.6 [26]. *Unit cell* di penelitian kali ini memiliki geometri persegi dengan jumlah satu (1) hingga tiga (3) persegi di setiap sel satuannya. Nantinya, sel satuan terbaik (berdasarkan parameter yang ada pada sub-bab 3.1) akan dipilih untuk dibuatkan sampel ujinya. Adapun desain metamaterial di penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.2 hingga Gambar 3.5.



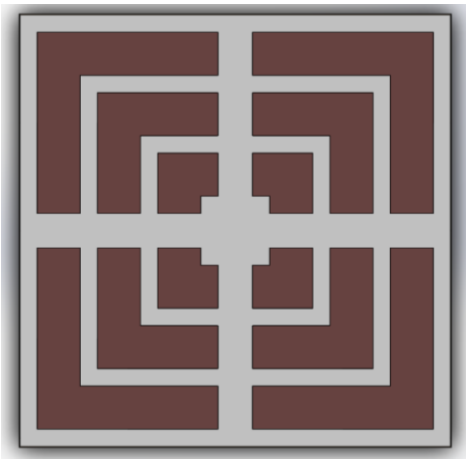
Gambar 3.5 Desain metamaterial



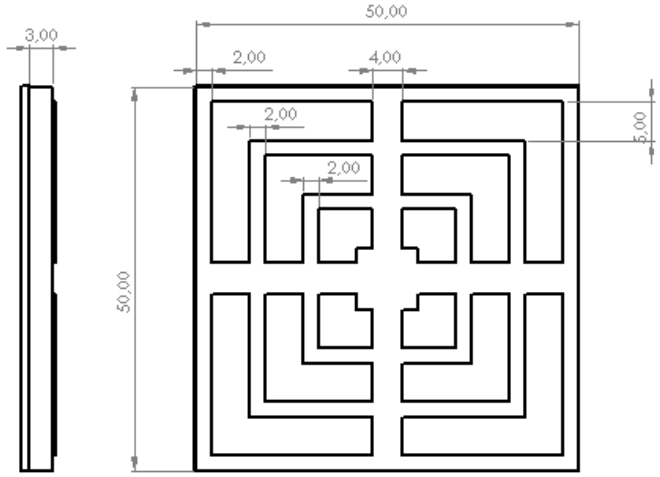
Gambar 3.6 Desain sel satuan dengan satu persegi



Gambar 3.7 Desain sel satuan dengan dua persegi



Gambar 3.8 Desain sel satuan dengan tiga persegi



Gambar 3.9 Dimensi metamaterial pada penelitian ini

3.6 Tahapan Penelitian

3.6.1 Mendesain Rancangan Metamaterial

Pada tahap ini penulis mendesain metamaterial dengan sel satuan berbentuk persegi menggunakan perangkat lunak CST *Studio Suite* secara berurutan. Metamaterial yang didesain memiliki tiga parameter pengujian untuk diketahui performa penyerapannya, yang pertama **banyaknya persegi**, kedua ***gap* pada persegi**, dan ketiga **tebal dielektrik (PVC)**.

Untuk parameter **banyaknya persegi** pada sel satuan metamaterial, terdapat **tiga variasi** bentuk. Ketiga variasi tersebut adalah sel satuan metamaterial dengan jumlah persegi **satu**, **dua**, dan **tiga** seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 hingga Gambar 3.4. Dimensi sel satuan metamaterial ditunjukkan oleh Gambar 3.6. Jarak dari tepi metamaterial ke sisi luar persegi pertama adalah 1 mm. Tebal dari persegi adalah 3 mm. Jarak antar persegi satu dengan yang lainnya adalah 1 mm.

Untuk parameter ***gap* pada persegi**, terdapat **lima variasi**. Kelima variasi *gap* atau celah tersebut adalah **0 mm** (tidak ada *gap*), **1 mm**, **2 mm**, **3 mm**, dan **4 mm**. Celah atau *gap* persegi terletak pada

tengah-tengah sisi persegi (atas, samping kanan & kiri, dan bawah) seperti yang ditunjukkan pada **Gambar III.6**.

Untuk parameter **tebal dielektrik (PVC)**, terdapat **empat variasi** ketebalan. Keempat variasi tersebut adalah dielektrik dengan tebal PVC **1 mm**, **2 mm**, **3 mm**, dan **4 mm**. Variasi tebal dielektrik PVC tersebut diambil menyesuaikan tebal PVC *board* yang tersedia di toko-toko komersial yang ada untuk memudahkan penulis dalam membuat sampel metamaterial.

3.6.2 Menjalankan Simulasi

Pada tahap ini penulis menjalankan simulasi di *software* CST *Studio Suite* berdasarkan desain metamaterial yang telah dibuat. Simulasi dijalankan untuk mendapatkan performa penyerapan atau *absorbance* dari setiap metamaterial yang dirancang dengan parameter yang telah ditentukan. Hasil simulasi tersebut berupa S-parameter (grafik yang menunjukkan perilaku suatu objek ketika diberikan suatu gelombang elektromagnetik dengan frekuensi tertentu).

3.6.3 Menentukan Desain Metamaterial Terbaik

Pada tahap ini penulis menentukan desain metamaterial terbaik berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan. Adapun parameter yang diperhatikan dalam menentukannya adalah banyaknya persegi dalam sel satuan, tebal dielektrik, dan *gap* pada persegi.

3.6.4 Pembuatan Sampel

Pada tahap ini penulis membuat sampel uji dengan desain metamaterial terbaik. Sampel metamaterial hanya ada satu jenis berdasarkan hasil simulasi terbaik pada setiap parameter yang ada. Sampel metamaterial dibuat dari dielektrik PVC, konduktor tembaga menggunakan *conductive ink*, dan *ground plane* aluminium foil.

Sebelum sampel dibuat, penulis membuat cetakan sampel berbentuk persegi (sesuai dengan desain metamaterial) sebagai tempat untuk

mengecat tinta konduktor tembaga untuk memudahkan proses pembuatan sampel. Cetakan sampel tersebut dibuat dengan 3D *Printer* dengan bahan filamen ABS.

3.6.5 Pengujian Sampel

Pada tahap ini penulis menguji sampel metamaterial yang telah dibuat dengan menggunakan alat uji *microwave measurement system*. Pengujian sampel metamaterial dilakukan sebagai pembanding hasil simulasi yang dilakukan menggunakan *software CST Studio Suite*.