

Antena Mikrostrip *Rectangular* dengan Slot X Untuk Komunikasi Pada UAV

Nadya Surya Suci Arfin, Firdaus Nursal, dan Yulindon

Program Studi DIV Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Padang (PNP)

e-mail: nadyasuryasuciarfin@gmail.com

Abstrak—Unmanned Aerial Vehicle (UAV) sering kali digunakan untuk melakukan misi pengintaian maupun pemantauan pada daerah yang sulit dijangkau oleh manusia sehingga dibutuhkan suatu antena dengan bentuk yang sederhana dan bobot yang ringan seperti antena mikrostrip, banyak penelitian sebelumnya merancang antena mikrostrip untuk UAV tetapi memiliki pola radiasi *omnidirectional* yang membuat sinyal dikirimkan ke segala arah yang mengakibatkan *ground station* tidak menerima sinyal seutuhnya. *Paper* ini menjelaskan mengenai antena mikrostrip yang di aplikasikan pada komunikasi UAV menggunakan frekuensi 2,4 GHz dengan dimensi 47,96 mm x 40 mm. Antena ini dirancang menggunakan aplikasi *CST Studio Suite 2021*. Antena mikrostrip yang dirancang menggunakan *patch rectangular* dengan penambahan suatu slot yang berbentuk X pada bagian tengah *patch* yang ditujukan untuk memperbaiki nilai *bandwidth* dan pola radiasi pada antena. Hasil pada proses simulasi dengan frekuensi kerja 2,4 GHz didapatkan nilai *return loss* sebesar -21,937 dB, nilai VSWR yang didapatkan sebesar 1,1739, nilai *gain* yang didapatkan sebesar 2,36 dBi dan pola radiasi berbentuk *unidirectional* sedangkan hasil fabrikasi didapatkan nilai *return loss* sebesar -16,00 dB, dan nilai VSWR yang dihasilkan sebesar 1,369. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat meningkatkan nilai *bandwidth* dengan menggunakan antena *array*.

Kata Kunci—Antena Mikrostrip, *Rectangular Patch*, UAV.

I. PENDAHULUAN

UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) merupakan suatu pesawat terbang tanpa awak yang dapat mengendalikan dirinya sendiri ataupun dapat dikendalikan oleh pilot dari jarak jauh di *ground station* menggunakan *remote control*, UAV juga disebut sebagai drone yang mana UAV ini banyak diaplikasikan oleh militer maupun sipil, baik itu pelacakan publik, keamanan lalu lintas, dan pemantauan bencana alam [1]. UAV dengan ukuran kecil biasanya memiliki ukuran sayap 1-2 meter dengan berat sebesar 5 kilogram untuk itu pesawat ini memerlukan antena dengan dimensi antena yang lebih kecil dan berat yang lebih ringan untuk menunjang proses kerja dari UAV itu sendiri, untuk itu dibutuhkan suatu antena yang sederhana untuk menunjang proses kerja dari UAV tersebut. UAV biasanya digunakan untuk mengamati di area pertanian yang luas seperti kesehatan tanaman [2], dan juga mengamati dampak apabila terjadi bencana alam.

Antena mikrostrip adalah antena yang saat ini banyak digunakan dalam komunikasi tanpa kabel karena bentuknya yang sederhana, antena ini juga disebut sebagai antena *patch*, antena mikrostrip memiliki dimensi yang kecil yang berbanding terbalik dengan frekuensinya, akan tetapi antena mikrostrip ini

memiliki kelemahan yaitu *bandwidth* yang sempit [3].

Antena mikrostrip adalah antena yang memiliki kelebihan dengan ukuran yang kecil, bentuk yang sederhana, dan memiliki bobot yang ringan sehingga cocok jika digunakan untuk komunikasi pada UAV. Komunikasi pada UAV dapat berupa *voice* maupun data, baik itu dari pesawat ke *ground station* maupun dari *ground station* ke pesawat dengan media perantara yang digunakan adalah gelombang elektromagnetik yang mana antena berperan sebagai *transmitter* dan *receiver*. Posisi UAV yang letaknya berada di atas *ground station* maka antena yang dibutuhkan oleh UAV adalah antena yang memiliki pola radiasi *unidirectional* dengan pancaran antena dapat lebih terfokus pada satu arah untuk memaksimalkan proses pengiriman maupun penerimaan pada antena.

Penelitian yang telah dilakukan beberapa tahun terakhir mengenai antena mikrostrip yang diaplikasikan pada UAV, diantaranya [4] merancang suatu antena mikrostrip *array* 2 x 2 untuk UAV berukuran 110 mm x 94 mm dengan jenis *quadcopter* yang mana pada penelitian ini merancang antena pada frekuensi kerja 2,45 GHz menggunakan metode pencatu *insert feed*, penelitian ini didapatkan nilai parameter pada saat simulasi, seperti *return loss* -23,73 dB, VSWR 1,13, *bandwidth* 122 MHz dan pola radiasi yang lebih dari satu arah (*omnidirectional*) sedangkan setelah proses fabrikasi didapatkan nilai *return loss* -20,74 dB, VSWR 1,2, *bandwidth* 47 MHz, dan pola radiasi yang juga lebih dari satu arah.

Selanjutnya [5] membuat antena mikrostrip dengan ukuran 80 mm x 97 mm dengan frekuensi 2,33 – 2,48 GHz menggunakan slot yang menyerupai bentuk huruf H dengan menggunakan teknik pencatu yaitu *coaxial probe feed*, pada perancangan ini didapatkan pola radiasi *omnidirectional*, nilai *gain* dihasilkan 4,65 dBi pada frekuensi 2,4 GHz. Penelitian selanjutnya [6] merancang antena mikrostrip *single patch* dengan frekuensi 2,33 – 2,39 GHz menggunakan reflektor yang berukuran 120 mm x 120 mm untuk Aplikasi Pesawat Udara Nir Awak (PUNA) Sriti pada penelitian ini hasil yang didapatkan pada *return loss* -23,85 dB, pada simulasi juga menghasilkan *gain* 3,81 dB. Sedangkan hasil fabrikasi didapatkan *return loss* -23,853 dB, VSWR yang dihasilkan 1,14, pola radiasi *omnidirectional* yang berarti memancarkan sinyal ke segala arah.

Beberapa penelitian sebelumnya mengenai antena mikrostrip *single patch* yang diaplikasikan pada UAV terlihat masih adanya kekurangan pada pola radiasi yang dihasilkan yaitu *omnidirectional* yang mana pola radiasi ini akan memancarkan

sinyal ke segala arah, membuat *ground station* menerima sinyal dengan tidak sempurna sehingga dibutuhkan pola radiasi *unidirectional* agar *ground station* dapat menerima sinyal seutuhnya karena pola radiasi ini memancarkan sinyal pada satu arah saja. Maka pada penelitian ini akan dirancang antenna dengan pola radiasi *unidirectional* untuk memaksimalkan data yang akan dikirim maupun yang akan diterima.

Paper ini akan meneliti mengenai perancangan antenna mikrostrip menggunakan *patch rectangular* dengan menambahkan slot yang berbentuk X pada bagian tengah *patch*. Antena ini dirancang dengan pola radiasi *unidirectional* untuk memaksimalkan sinyal yang dipancarkan oleh UAV dan diterima oleh *ground station*, antenna ini dirancang pada frekuensi 2,4 GHz dan *substrate* FR-4 menggunakan konstanta dielektrik 4,3 dengan tebal *substrate* 1,6 mm. Pada penelitian ini menggunakan *patch* yang berbentuk *rectangular* yang memiliki kelebihan yaitu kemudahan dalam perancangan menggunakan aplikasi, bentuk yang sederhana.

II. METODE PENELITIAN

Antena mikrostrip yang akan dirancang adalah antenna mikrostrip dengan slot X menggunakan frekuensi 2,4 GHz dengan *insert feed* sebagai teknik pencatunya. Antena ini menggunakan FR-4 Epoxy sebagai *substrate* dengan konstanta dielektrik 4,3 dan ukuran dimensi pada antenna adalah 47, 96 mm × 40 mm sesuai dengan hasil perhitungan rumus. Tabel 1 merupakan penentuan dimensi awal dalam merancang antenna.

Tabel 1. Spesifikasi Awal Antena

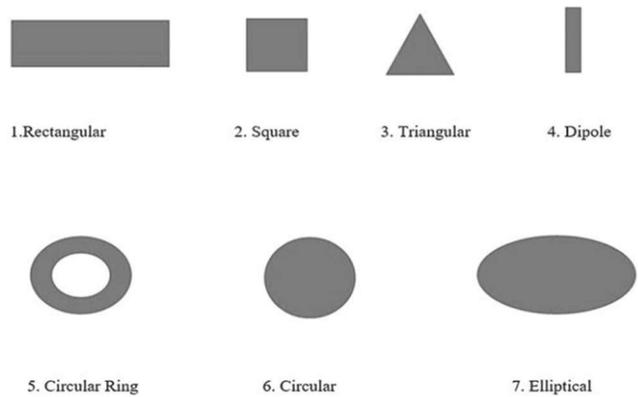
Parameter	Spesifikasi
Frekuensi Kerja	2,4 GHz
Bentuk <i>patch</i>	<i>Rectangular Patch</i>
<i>Return Loss</i>	≤ -10 dB
VSWR	< 2
Pola Radiasi	<i>Unidirectional</i>
<i>Gain</i>	> 0 dBi
Teknik Pencatu	<i>Insert Feed</i>

Antena mikrostrip disebut sebagai antenna yang berbentuk pipih seperti bilah, yang mana antenna ini memiliki tiga lapisan yaitu *groundplane*, *substrate*, dan *patch*, lapisan *patch* biasanya berbahan konduktor yang merupakan lapisan teratas dan merupakan pusat dari pancaran gelombang elektromagnetik [7], *substrate* adalah media dielektrik yang memisahkan antara *patch* dan *groundplane*, sedangkan *groundplane* adalah lapisan yang terletak dibawah *substrate* dan *patch*, karena bentuknya yang sederhana antenna ini banyak digunakan pada komunikasi tanpa kabel dengan frekuensi yang tinggi dan dapat menghasilkan kualitas transmisi yang baik [8].

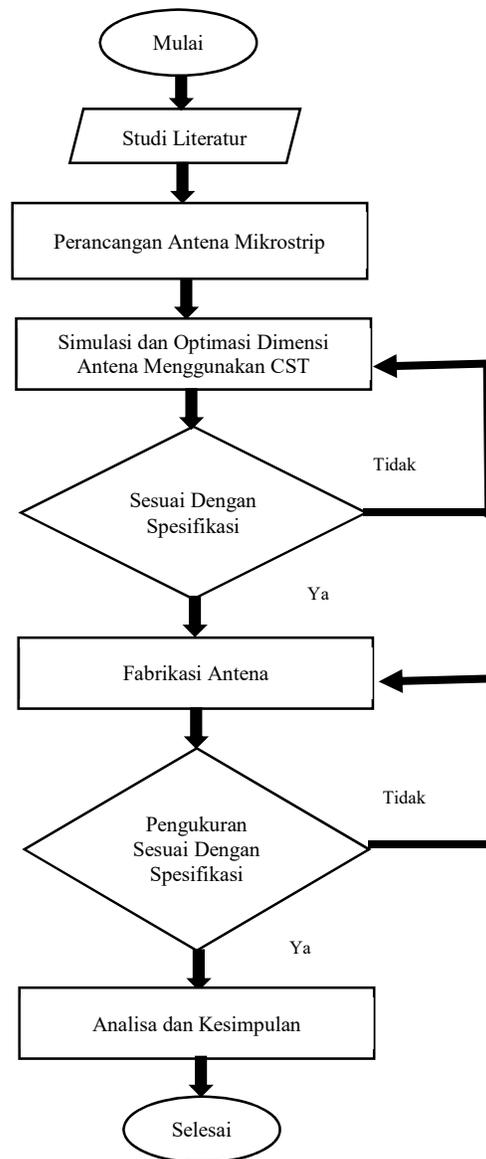
Hal penting yang harus diperhatikan pada perancangan antenna mikrostrip adalah ukuran dan bentuk *patch* , antenna ini menggunakan bentuk *rectangular* dan ada beberapa bentuk *patch* lainnya yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Dalam melaksanakan penelitian ini penulis melakukan beberapa tahapan dari mulai mengumpulkan data – data terkait penelitian kemudian melakukan perancangan hingga analisis

dan menarik kesimpulan dari penelitian ini, seperti diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 1. Bentuk *patch* antenna mikrostrip [9].



Gambar 2. Diagram Alir Metode Penelitian.

A. Perancangan Antena

Persamaan (1) merupakan perhitungan pertambahan panjang penampang (ΔL), dan diikuti dengan perhitungan ukuran *patch* antena, baik itu lebar maupun panjangnya yang dirujuk ke (2) – (8).

Berikut persamaan untuk menghitung ukuran dimensi pada antena.

Ukuran pertambahan panjang penampang [10]

$$\frac{\Delta L}{h} = 0,412 \frac{(\epsilon_{reff}+0,3)(\frac{W}{h}+0,264)}{(\epsilon_{reff}-0,258)(\frac{W}{h}+0,8)} \tag{1}$$

Panjang *patch* [10]

$$L = \frac{\lambda}{2} - 2\Delta L \tag{2}$$

Panjang efektif *patch* [10]

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \tag{3}$$

Lebar *patch* [10]

$$W = \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}} \tag{4}$$

Lebar *feeder* [11]

$$W_f = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left[(B - 1) + 0,39 \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \tag{5}$$

Dimana,

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \tag{6}$$

Panjang *feeder* [11]

$$L = \frac{\lambda_d}{4} \tag{7}$$

Dimana,

$$\lambda_d = \lambda \times \epsilon_r \tag{8}$$

Berdasarkan rumus perhitungan antena tersebut, maka di dapatkan ukuran dimensi pada antena yang terdapat pada Tabel 2. Setelah perhitungan ukuran dimensi antena selesai, selanjutnya dilakukan perancangan antena tersebut menggunakan Aplikasi CST Studio 2021, kemudian dilakukan proses simulasi dan optimasi untuk mendapatkan hasil antena yang diharapkan.

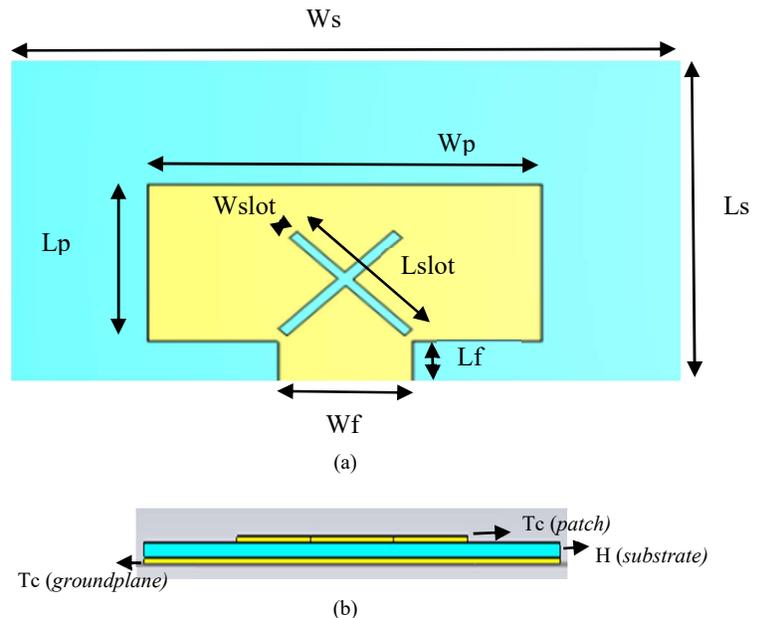
B. Simulasi dan Optimasi Antena

Simulasi perancangan antena ini menggunakan Aplikasi CST Studio 2021, optimasi pada perancangan dilakukan secara bertahap, tahapan awal melakukan simulasi pada perancangan

awal sesuai dengan hasil perhitungan kemudian melakukan optimasi sampai mendapatkan hasil terbaik. Dari proses ini akan didapatkan ukuran dimensi baru yang telah sesuai dengan spesifikasi antena yang diinginkan.

Simulasi Awal

Tahap ini dilakukan simulasi awal antena menggunakan ukuran dimensi yang dihasilkan dari perhitungan dengan teknik pencatu yang digunakan adalah *insert feed*. Gambar 3 merupakan desain awal antena sesuai dengan perhitungan.



Gambar 3. Perancangan awal antena, (a) tampak atas (b) tampak bawah.

Pada Gambar 3, warna biru merupakan bagian dari *substrate* antena dengan material FR-4 Epoxy, untuk warna kuning merupakan bagian *patch* antena yang terletak di atas *substrate* menggunakan material *copper* atau tembaga. Huruf X pada tengah *patch* merupakan sebuah slot yang dipotong dari bagian *patch*. Bentuk *patch* yang digunakan pada penelitian ini adalah persegi panjang atau *rectangular*, bagian *patch* ini menyatu dengan sebuah *feeder* yang nantinya akan digunakan untuk memberikan port pada antena. *Groundplane* terletak dibelakang *substrate* yang mana *groundplane* ini memiliki ukuran yang sama persis dengan *substrate* akan tetapi material yang digunakan adalah *copper* atau tembaga. Dimensi antena ini ditampilkan pada Tabel 2.

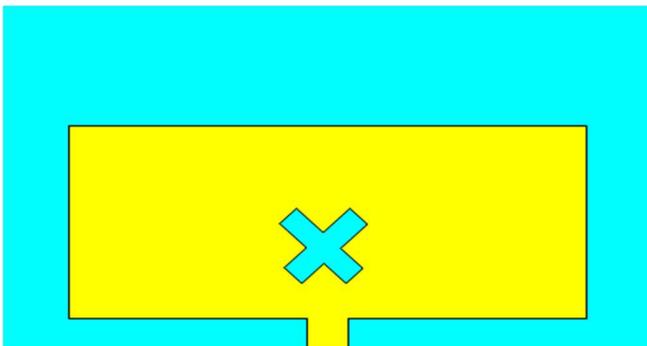
Tabel 2. Parameter Antena

Parameter	Nilai (mm)
Ws	27,98
Ls	26,674
Wp	18,33
Lp	20,185
Lf	7
Wf	1,5
Lslot	4,25
Wslot	0,697
H	1,6
Tc	0,035

Optimasi Antena

Tahapan ini dilakukan optimasi dari hasil yang didapatkan pada simulasi awal, optimasi dilakukan dengan mengganti ukuran dimensi pada antena sampai mendapatkan hasil terbaik sesuai dengan spesifikasi antena yang dibutuhkan. Proses ini mengubah ukuran dimensi antena dengan cara memperbesar ataupun memperkecil ukuran dimensi antena.

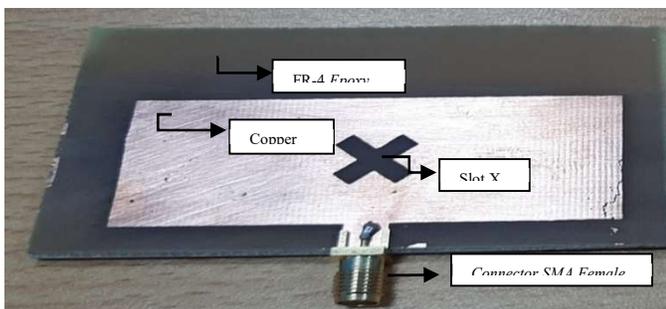
Proses optimasi terlihat banyak ukuran dimensi antena yang diperbesar dan juga diperkecil, seperti memperkecil nilai panjang *feeder*, memperbesar nilai panjang *patch*, memperbesar nilai panjang slot, memperbesar nilai dari lebar *feeder*, memperbesar lebar dari *patch*, dan memperbesar lebar *substrate* serta meningkatkan lebar dari slot. Gambar 4 menampilkan desain akhir dari antena yang telah di optimasikan. Pada Gambar 4 *substrate* dari antena ditunjukkan dengan warna putih yang berbentuk persegi panjang dengan ukuran 47,96 mm × 40 mm dengan material FR-4 Epoxy, *groundplane* memiliki ukuran dimensi yang sama dengan *substrate* hanya saja *groundplane* terletak dibawah *substrate* dengan material yang digunakan adalah *copper*. Warna kuning menunjukkan bentuk *patch* dan *feeder* yang tergabung, dengan *patch* berbentuk seperti persegi panjang berukuran 31,47 × 26,02 mm menggunakan material *copper*. Untuk slot yang berbentuk X menggunakan material *copper* yang dipotong dengan bagian tengah *patch*, slot X ini berawal dari dua persegi panjang dengan persegi panjang pertama dirotasikan sebesar 45° dan persegi panjang lainnya dirotasikan sebesar -45°.



Gambar 4. Desain akhir antena.

C. Fabrikasi Antena

Setelah proses perancangan selesai dilakukan, proses selanjutnya adalah proses fabrikasi. Proses fabrikasi merupakan proses pembuatan antena sesuai dengan ukuran dimensi antena yang telah didapatkan pada perancangan.



Gambar 5. Hasil fabrikasi antena.

Gambar 5 merupakan gambar hasil fabrikasi, pada gambar tersebut terlihat bahwasanya bagian *substrate* menggunakan material FR-4 Epoxy, bagian *patch* menggunakan bahan tembaga (*copper*), antena ini dihubungkan dengan konektor SMA *female* yang digunakan pada saat pengukuran.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Parameter Akhir Antena

Setelah proses optimasi dilakukan maka didapatkan ukuran dimensi antena dengan hasil yang sesuai spesifikasi yang terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3.
Parameter Akhir Antena

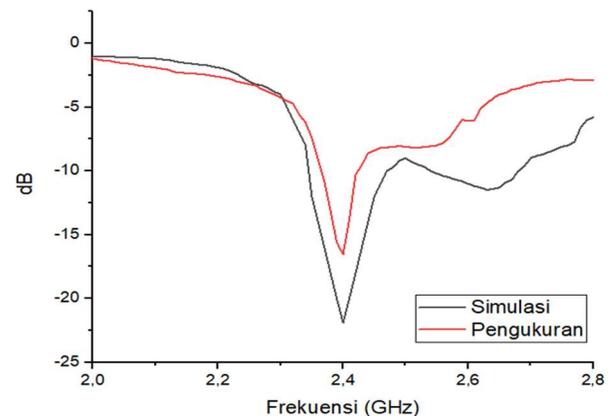
Parameter	Nilai (mm)
Ws	45,982
Ls	45,98
Wp	24,5
Lp	30,37
Lf	5
Wf	2,6
Lslot	5,66
Wslot	1,54
H	1,6
Tc	0,035

B. Hasil Parameter Pada Simulasi dan Fabrikasi

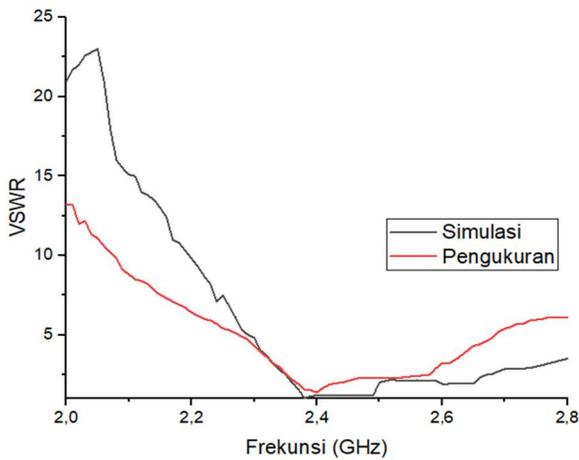
Tahapan ini akan menampilkan hasil simulasi dengan hasil fabrikasi antena. Pada hasil simulasi menggunakan Aplikasi CST Studi akan ditampilkan hasil yang telah dioptimasi, untuk proses pengukuran dilakukan menggunakan suatu alat yaitu *Visual Network Analyzer* (VNA).

Visual Network Analyzer merupakan suatu alat yang dapat mengukur parameter – parameter pada antena. Penggunaan VNA ini diawali dengan mengkalibrasinya agar garis awal berada pada titik 0.

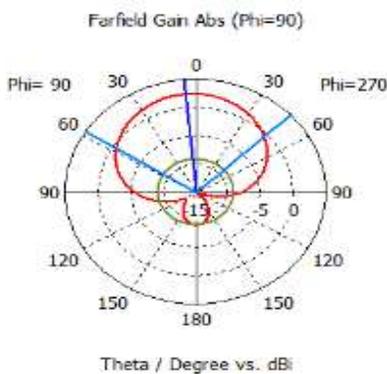
Hasil ini berupa parameter antena yaitu *return loss*, VSWR, pola radiasi, *gain*, dan *diversity*. Gambar 6 melihatkan hasil *return loss*, Gambar 7 menampilkan hasil VSWR, Gambar 8 menampilkan gambar pola radiasi yang dihasilkan, Gambar 9 menunjukkan nilai *gain*, dan Gambar 10 merupakan hasil dari *directivity*.



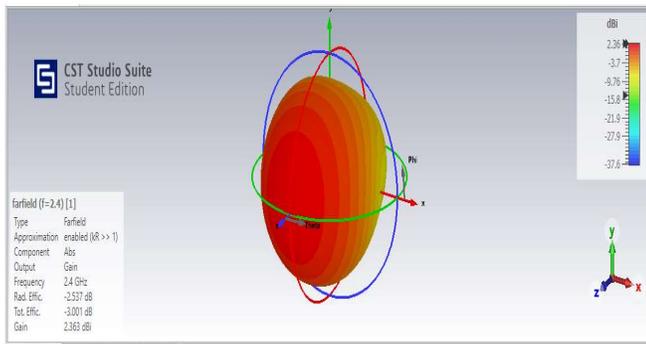
Gambar 6. Hasil *return loss*.



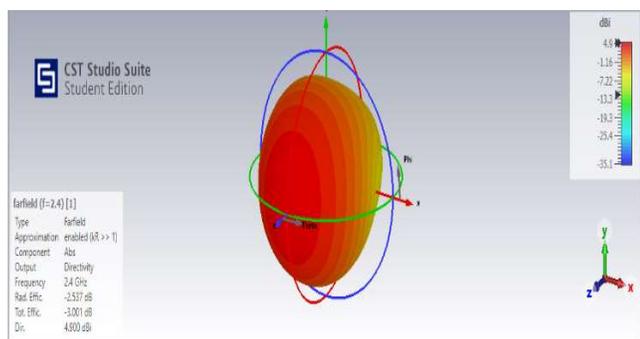
Gambar 7. Hasil VSWR.



Gambar 8. Hasil Pola Radiasi.



Gambar 9. Hasil gain antenna.



Gambar 10. Hasil directivity antenna.

C. Analisis Data

Pada tahapan ini akan di analisis perbandingan hasil dari proses simulasi dengan proses fabrikasi. Tabel 4 merupakan perbandingan yang dihasilkan oleh antenna.

Tabel 4.
Perbandingan hasil simulasi dengan hasil pengukuran

Parameter	Spesifikasi yang diinginkan	Simulasi	Fabrikasi
Return loss	≤ -10 dB	-21,937 dB	-16,00 dB
VSWR	< 2	1,173	1,369

Pada analisis data akan diamati parameter – parameter dari antenna, seperti *return loss*, VSWR, pola radiasi, *gain*, *directivity*, dan *bandwidth*.

Return Loss

Hasil simulasi antenna ini senilai -21,937 dB dan hasil pengukuran senilai -16 dB, hasil ini memiliki sedikit perbedaan sebesar 5,287 dB, dapat dikatakan telah terjadi rugi rugi impedansi yang mengakibatkan berkurangnya nilai *return loss* dari simulasi dan saat fabrikasi, hal ini juga dapat terjadi akibat beberapa faktor, seperti tidak sempurna dalam proses pengamplasan, proses pelarutan, dan faktor pengukuran. Hasil dari simulasi dan pengukuran telah menunjukkan bahwa nilai impedansi saluran transmisi dengan antenna sudah dalam keadaan *matching*.

Voltage Standing Wave Ration

Proses simulasi didapatkan nilai VSWR sebesar 1,1739 sedangkan hasil yang didapatkan pada pengukuran adalah 1,369, kedua hasil yang didapatkan menunjukkan telah terpenuhinya spesifikasi antenna yang diinginkan yaitu < 2.

Pola Radiasi

Perancangan antenna ini menghasilkan pola radiasi *unidirectional*, yang mana pola radiasi *unidirectional* memancarkan sinyal hanya pada satu arah, karena UAV yang letaknya berada di atas *ground station* maka pola radiasi ini akan lebih efektif dikarenakan sinyal yang dipancarkan oleh UAV akan langsung memancar hanya pada *ground station* dan sebaliknya.

Gain

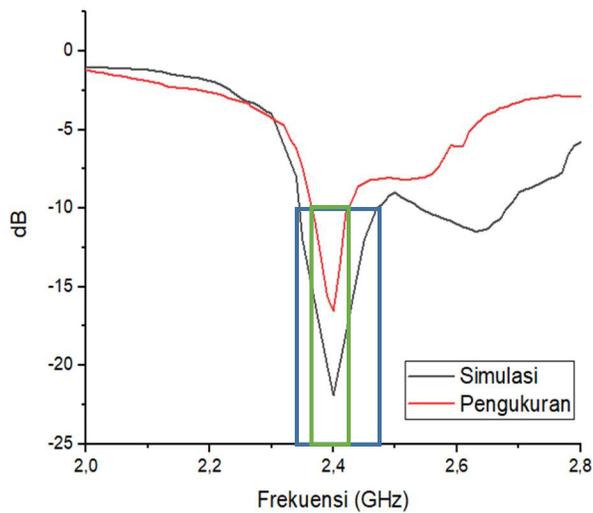
Hasil yang didapatkan dari perancangan antenna adalah 2,36 dBi.

Directivity

Pada perancangan antenna didapatkan nilai *directivity* sebesar 4,9 dBi.

Bandwidth

Bandwidth adalah rentang frekuensi antara frekuensi *upper* dan frekuensi *lower*. Untuk nilai *bandwidth* dapat dihitung melalui Gambar 11 berikut.



Gambar 11. *Bandwidth*.

Persamaan (12) merupakan rumus perhitungan *bandwidth*

$$Bandwidth = f_U - f_L \tag{12}$$

Dari perhitungan didapatkan nilai *bandwidth* pada saat simulasi sebesar 95 MHz, dapat diartikan bahwasanya antenna ini memiliki rentang frekuensi pada *lower frequency* 2,36 GHz dan *high frequency* 2,458 GHz sehingga menghasilkan *bandwidth* 95 MHz. Pada pengukuran memiliki rentang frekuensi pada *lower frequency* 2,36 GHz dan *high frequency* 2,43 GHz sehingga menghasilkan *bandwidth* 70 MHz, hal ini menunjukkan bahwa *bandwidth* setelah fabrikasi mengalami penyempitan hal ini dapat disebabkan karena faktor dari proses fabrikasi, baik itu akibat penyolderan yang kurang tepat, faktor konektor yang digunakan, proses pelarutan yang belum sempurna, dan pemotongan yang kurang akurat.

Dari proses simulasi dan pengukuran pada antenna, didapatkan pola radiasi yang diinginkan yaitu *unidirectional*. Tabel 5 menunjukkan beberapa perbandingan hasil yang diperoleh dengan penelitian sebelumnya.

Tabel 5.
Perbandingan Hasil Akhir Antena

Referensi	Dimensi (mm)	Frekuensi Kerja (GHz)	Pola Radiasi
[3]	110 x 94	2,45	<i>Omni directional</i>
[4]	97 x 80	2,33 – 2,48	<i>Omni directional</i>
[5]	120 x 120	2,33-2,39	<i>directional</i>
Penelitian ini	47, 96 x 40	2,36 – 2,43	<i>Uni directional</i>

Antena yang telah dirancang memiliki pembaharuan dari penelitian sebelumnya yaitu telah menghasilkan pola radiasi *uni directional* yang dibutuhkan oleh UAV agar komunikasi pada UAV dapat langsung tersampaikan kepada tujuannya tanpa harus mengakibatkan kehilangan informasi yang mengakibatkan informasi yang ingin disampaikan tidak

seutuhnya diterima oleh *ground station*. Dengan ukuran yang kecil yaitu 47,96 mm x 40 mm membuat antenna ini mudah untuk diaplikasikan dan dipasangkan pada bagian badan pesawat.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Hasil yang diperoleh antara proses simulasi dan proses fabrikasi, dapat disimpulkan bahwasanya antenna ini dapat diimplementasikan pada *small UAV* karena memiliki frekuensi yang bekerja pada 2,4 GHz, seluruh parameter yang dihasilkan sudah memenuhi kriteria spesifikasi yang diinginkan. Perbedaan nilai parameter yang dihasilkan dapat disebabkan karena pada saat proses fabrikasi langkah yang dikerjakan kurang tepat, seperti kurang sempurnanya pada saat proses pengamplasan, proses pengukuran maupun proses pelarutan. Antena Mikrostrip dengan *patch rectangular slot X* dapat membuat antenna memiliki pola radiasi *unidirectional* yang penting dicapai pada penelitian ini.

Dari penelitian ini diharapkan peneliti selanjutnya dapat menggunakan desain antenna ini dengan meningkatkan nilai *gain* dan *bandwidth* dengan merancang antenna menggunakan metode array.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agha S. Hassnain, Muhammad Asghar, Fazal Noor, Ibsaf Ullah, And Mohammad H. Alsharif, "Towards the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)". *MDPI*, (2022, June), doi: 10.3390/drones6060147
- [2] F. Abushakra *Et Al.*, "A Miniaturized Ultra-Wideband Radar For UAV Remote Sensing Applications," *IEEE Microw. Wirel. Components Lett.*, Vol. 32, No. 3, Pp. 198–201, 2022, doi: 10.1109/Lmwc.2021.3129153.
- [3] Mishra Ranjan "An Overview of Microstrip Antenna" *IJTIR*, vol. 21, No. 2, (2016, August) 1-3.
- [4] A. S. Planar, D. H. Nursidik, I. H. Wijanto, A. Dwi, And P. St, "Mikrostrip Petak Rektangular Untuk UAV Quadcopter Pita Ism 2 . 45 Ghz Planar Array 2 × 2 Rectangular Patch Microstrip Antenna For Ism Band 2 . 45 Ghz Uav Quadcopter," *Telkom University*, Vol. 7, No. 3, Pp. 8960–8969, 2020.
- [5] V. R. D. Kumar, R. Kumari, And S. Nandi, "Meandering Slot Patch Antenna For UAV Applications," *IEEE*. (2019, May) 5–9, doi: 10.1109/Imicpw.2019.8933161.
- [6] Y. Guno, "Penerapan Antena Mikrostrip Di Pesawat Udara Nir Awak (Puna) Sriti," *Tesla*, Vol. 18, No. 2, (2016, Oct) 103–112.
- [7] E. Y. D. Utami, F. D. Setajji, And D. Pebrianto, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Persegi Panjang 2,4 Ghz Untuk Aplikasi Wireless Fidelity (Wi-Fi)," *J. Nas. Tek. Elektro*, Vol. 6, No. 3, (2017) 196, doi: 10.25077/Jnte.V6n3.406.2017.
- [8] R. Ruliyanta And E. R. Nugroho, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Rectangular Array 4x1 Pada Frekuensi 1800 Mhz-2300 Mhz," *J. Ilm. Giga*, Vol. 24, No. 1, (2021) 35, doi: 10.47313/Jig.V24i1.1144.
- [9] Pandil Aney. *Practical Microstrip and Printed Antenna Design*. London:Artech House (2019) Ch. 1.
- [10] Balanis, C. *Antenna Theory Analysis And Design Fourth Edition*. New Jersey: John & Sons (2016) Ch. 14.
- [11] R.A Arianto, Ir. Bambang Sumajidin, dan Trasma Yunita. "Efek Slot Pada Antena Mikrostrip Triangular Dual Band Dengan Frekuensi Antena Awal 2,4 GHz". *Telkom University*. Vol. 6, No. 2, Pp. 3904–3911, 2019.