

Perancangan Antena Yagi Gain Tinggi pada Ground Control Station Wahana Udara Nirawak

Melvi¹, Nur Fadillah¹, Yetti Yuniati¹, Aryanto¹, Nora Aditiyan¹, Cahyo Mustiko Okta Muvianto², dan Ardian Ulvan¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
Jalan Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, 35145

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram
Jalan Majapahit No.62 Mataram, 83125
e-mail: ardian.ulvan@eng.unila.ac.id

Abstrak—Pengoperasian wahana terbang tanpa awak (*Unmanned Aerial Vehicle*–UAV) saat ini lebih dominan menggunakan teknologi *autonomous (autopilot)* daripada melakukan kontrol manual melalui *remote control*. Dalam melaksanakan misi terbangnya secara *autonomous*, komunikasi antara UAV dan *Ground Control Station* (GCS) harus dalam kondisi yang baik dan stabil agar data telemetri dan data sensor *payload* yang dibawa oleh wahana dapat diterima GCS. Sebaliknya, setiap perubahan parameter dapat dikoreksi oleh GCS untuk kemudian dikirimkan ke wahana. Oleh sebab itu, agar tidak terjadi *loss* sinyal selama proses komunikasi berlangsung, maka peran antena menjadi sangat penting. Penelitian ini berfokus pada antena GCS dengan merancang antena jenis Yagi dengan optimasi jarak, jumlah *director*, bahan dan bentuk *reflector* melalui simulasi *Computer Simulation Technology* (CST). Hasil terbaik yang dipilih adalah antena Yagi dengan jarak antar *director* sama besar, jumlah *director* tujuh buah, bahan tembaga dan *reflector flat* dengan nilai VSWR 1.1134, *return loss* -25.411 dB, dan *gain* 10.7 dB. Hasil pengukuran setelah fabrikasi adalah VSWR sebesar 2.165, dengan *return loss* -8.677 dB. Pengujian antena di lapangan saat UAV diterbangkan sejauh 2.5 km didapat hasil kuat sinyal yang diterima GCS sebesar -70.68 dBm dengan RSSI 107, dan kuat sinyal sebesar 96%.

Kata kunci: *antena yagi, uav, ground control station (gcs), vswr, return loss*

Abstract—The uncrewed Aerial Vehicle (UAV) operation is currently dominated by autonomous technology (*autopilot*) rather than manual control via remote control. During flying the mission autonomously, communication between the UAV and the Ground Control Station (GCS) must be in good and stable conditions. The GCS can well receive the telemetry data and payload sensor data carried by the vehicle. Conversely, any inconsistency parameters can be corrected by the GCS before transmitted to the UAV. Therefore, the role of the antenna is crucial to avoid signal loss during the communication process. This study focuses on GCS's antenna. By designing the Yagi type antenna with the optimization of the distance, the number of directors, material, and shape of the reflector through CST simulation. The best option chosen is the Yagi antenna with the same distance between directors, seven directors, copper material, and flat reflectors with a VSWR of 1.1134, return loss -25.411 dB and 10.7 dB of gain. The measurement result after fabrication is the VSWR of 2.165 and the return loss of -8.677 dB. The antenna test results, when the UAV was flown as far as 2.5 km, found that the signal strength received by the GCS is -70.68 dBm with RSSI 107, and the signal strength in percent is 96%.

Keywords: *yagi antenna, uav, ground control station (gcs), vswr, return loss*

Copyright © 2020 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Wahana udara tanpa awak atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) merupakan teknologi pesawat terbang tak berawak yang dalam pengoperasiannya dapat dikendalikan dengan menggunakan *Remote Control* (RC) atau beroperasi secara *autonomous (autopilot)*. Dewasa ini, dalam menjalankan misi-misi nya, UAV lebih dominan dioperasikan secara *autonomous*. UAV pada umumnya membawa *payload* berupa kamera, sensor, dan perangkat telemetri untuk komunikasi antara wahana ke *Ground Control Station* (GCS) [1]. UAV banyak digunakan untuk

kepentingan eksplorasi, pemetaan, penyelamatan, serta pemantauan lewat udara [2]-[4] UAVs (*Unmanned Aerial Vehicles*).

UAV dan GCS berkomunikasi melalui media transmisi udara dengan menggunakan gelombang radio [1]. Dalam melaksanakan misi terbang, komunikasi antara UAV dan GCS harus dalam kondisi yang baik dan stabil agar tidak terjadi *loss* sinyal selama proses komunikasi berlangsung. Oleh sebab itu dibutuhkan perangkat telekomunikasi yang handal untuk memenuhi kebutuhan tersebut, salah satunya adalah antena. Dalam sebuah sistem UAV, antena sangat berperan penting dalam proses komunikasi antara UAV

dan GCS. Antena yang biasa digunakan pada GCS adalah antena jenis *j-pole* dengan *gain* 2 dB dan pola radiasi *omnidirectional* [5]. Dalam banyak kesempatan dan pengalaman, untuk melakukan misi terbang dengan jarak lebih dari satu kilometer, antena jenis *omnidirectional* tidak dapat menerima sinyal yang dipancarkan oleh antena telemetri yang berada di wahana dengan baik. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini dilakukan perancangan ulang sebuah antena baru untuk GCS, dengan jenis Yagi. Antena Yagi memiliki *gain* >2 dB dan memiliki pola radiasi *directional* [5]. Sebagai antena GCS, antena yagi ini diperkirakan dapat menerima sinyal dari antena telemetri yang ada di UAV dengan baik sehingga komunikasi antara wahana dan GCS dapat berlangsung tanpa terputus.

Studi tentang pengembangan antena untuk GCS sistem wahana udara tanpa awak telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Pada umumnya jenis antena yang digunakan adalah antena *parabolic* karena memiliki kemampuan untuk meningkatkan jangkauan antena telemetri default yang hanya 140 meter dengan *maximum power* 20 dBm [6]. Optimasi yang didapat dari hasil rancangan tersebut adalah peningkatan kemampuan antena untuk mempertahankan sinyal yang ditransmisikan antara GCS dan UAV dengan minimum daya 1 dBm pada jarak 80.54 meter dengan RSL -91,21 dBm pada frekuensi operasional 433 MHz. Sedangkan dengan daya maksimum 20 dBm jarak jangkauannya mencapai lebih dari 360,09 meter dengan nilai RSL -99.21 dBm [8]. Selain pada tipe antena *parabolic*, rancangan antena GCS juga pernah dilakukan dengan menggunakan tipe Biquad [9]. Rancangan antena Biquad ini digunakan untuk mengoptimalkan komunikasi antara UAV dan GCS yang bekerja pada frekuensi 433 MHz. Penelitian ini menunjukkan beberapa parameter uji, seperti impedansi antena sebesar 50.9 Ohm, dengan nilai VSWR (*voltage standing wave ratio*) sebesar 1.2, F/B -1.14 dB, dan nilai *gain* sebesar 11.24 dBi. Namun, tidak ada informasi mengenai jangkauan yang bisa didapat oleh antena tersebut pada saat diimplementasikan.

Penelitian dan pengembangan antena dengan jenis Yagi juga sudah dilakukan sebelumnya [7] – [9]. Pengembangan rancangan antena Yagi pada umumnya dilakukan untuk peningkatan *gain* dan *bandwidth* jaringan WiFi dan WiMax [7], dengan operasional frekuensi 2.45 GHz. Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan kinerja antena Yagi konvensional dengan parameter optimasi jarak, jumlah *director*, dan bentuk reflektor. Hasil dari penelitian ini adalah sebuah rancangan antena Yagi dengan reflektor *parabolic* yang menghasilkan *gain* sebesar 12.30 dBi dengan *bandwidth* sebesar 0.265 GHz. Hasil lainnya adalah rancangan antena Yagi dengan reflektor *flat* yang menghasilkan *gain* sebesar 11.61 dBi dengan *bandwidth* sebesar 0.262 GHz. Sedangkan antena Yagi dengan reflektor konvensional menghasilkan *gain* 11.63 dBi dengan *bandwidth* sebesar 0.190 GHz. Dari hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa antena Yagi dengan reflektor *parabolic* dan *flat* memiliki spesifikasi kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan Yagi

konvensional.

Dalam penelitian lain, perancangan antena Yagi dilakukan dengan cara integrasi dengan menggunakan metode *stacking multiple layer* dengan substrat dielektrik [8]. Substrat dielektrik yang dipilih adalah Rogers RO435B, dengan $\epsilon_r = 3.48$, $\tan \delta = 0.0037$ dan ketebalan substrat nya sebesar 0.762 mm. Antena ini didesain untuk bekerja pada frekuensi 2,4 GHz, menghasilkan *gain* = 10.9 dBi, S.1.1 = < -10 dB dan *bandwidth* sebesar 6.9 GHz.

Pengembangan yang lebih lanjut dari antena Yagi juga telah dilakukan pada [9], dimana antena jenis Minkowski Fractal Yagi-Uda telah dimodifikasi untuk meningkatkan kemampuannya. Modifikasi dilakukan pada antena Yagi Fractal yang beroperasi pada frekuensi 800-960 MHz. Minkowski fraktal kombinasi orde pertama dan kedua dari fraktal antena dimodifikasi untuk meningkatkan *bandwidth* dari antena Yagi-Uda. Hasil modifikasi menunjukkan peningkatan *bandwidth* sebesar 20% dari antena Yagi-Uda tradisional.

Dari literatur-literatur tersebut dapat digarisbawahi bahwa penelitian dan pengembangan antena untuk sistem GCS wahana udara tanpa awak sudah dilakukan, namun belum ada yang menggunakan antena jenis Yagi. Pengembangan antena Yagi sendiri lebih difokuskan untuk peningkatan *bandwidth* pada jaringan komunikasi konvensional berbasis *Wireless Local Area Network (WLAN -WiFi)* dan *Wireless Metropolitan Area Network (WMAN – WiMax)*. Oleh karena itu, penelitian ini fokus pada perancangan antena jenis Yagi sebagai antena untuk perangkat telemetri yang ada di GCS. Optimasi jarak, jumlah *director*, bahan serta bentuk reflektor dirancang dengan menggunakan simulasi CST (*Computer Simulation Technology*) dengan tujuan untuk menghasilkan nilai *gain* >10 dB, dengan nilai *return loss* dan VSWR (*voltage standing wave ratio*) sesuai dengan standar untuk kinerja antena yang baik yaitu ≤ -10 dB untuk *return loss*, dan <2 untuk VSWR [10].

II. DESAIN ANTENA YAGI

Antena Yagi atau Yagi-Uda merupakan antena yang beroperasi pada rentang frekuensi HF (3-30 MHz), VHF (30-300 MHz) dan UHF (300-3000 MHz) [11]. Antena ini terdiri dari sejumlah elemen *dipole linear*, dengan salah satu elemen diberikan energi secara langsung dari suatu saluran transmisi dan elemen yang lainnya berfungsi sebagai elemen parasit dengan arus yang terinduksi melalui induktansi bersama [11].

Panjang fisik antena dihitung berdasarkan panjang gelombang (λ) frekuensi kerja wahana pesawat yang menggunakan antena tersebut, dimana panjang gelombang dihitung dalam satuan meter. Persamaan untuk menghitung panjang gelombang (λ) adalah sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{c}{F_c} \quad (1)$$

dimana c merupakan cepat rambat gelombang dalam

ruang hampa (3×10^8 m/s) dan F_c adalah frekuensi kerja atau frekuensi tengah (*center frequency*) antena (Hz).

Antena Yagi terdiri dari tiga bagian, yaitu reflektor, *driven* dan *director*, dimana masing-masing bagian mempunyai pengertian sebagai berikut:

1. Reflektor merupakan sebuah alat yang dapat memantulkan cahaya, suara atau radiasi elektromagnetis. Fungsi reflektor pada antena adalah untuk mengarahkan energi elektromagnetik (EM), umumnya dalam rentang panjang gelombang radio spektrum elektromagnetik [5]. Persamaan untuk mencari dimensi reflektor antena Yagi adalah sebagai berikut:

$$R = L + (5\% \times L) \quad (2)$$

dimana R merupakan dimensi reflector dan L merupakan panjang *driven*.

2. Driven merupakan titik catu dari kabel antena, biasanya panjang fisik driven adalah setengah panjang gelombang ($0,5\lambda$) dari frekuensi radio yang dipancarkan atau diterima [2]. Persamaan untuk mencari dimensi driven antena Yagi adalah sebagai berikut:

$$L = k \times \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

dimana k merupakan *velocity factor* pada logam (0,95) dan λ merupakan panjang gelombang.

3. Direktor adalah kawat disekitar *driven dipole* yang bertugas meneruskan gerakan gelombang yang mengenainya. Persamaan untuk menghitung dimensi *director* menggunakan (4) dan (5):

$$D_1 = L - (5\% \times \lambda) \quad (4)$$

$$D_n = D_{n-1} - (5\% \times \lambda) \quad (5)$$

dengan D_1 menunjukkan *director* 1, L adalah panjang *driven*, D_n merupakan *director* ke- n dan λ adalah panjang gelombang.

Jarak *driven* ke reflektor dapat dihitung dengan menggunakan (6):

$$S = 0,125\lambda \\ = 8,66 \text{ cm} \quad (6)$$

dengan S adalah jarak *driven* ke reflektor. Selanjutnya, jarak antar *director* dan *gap* nya dapat dihitung dengan menggunakan (7) dan (8):

$$SD = \frac{36,6}{F_r} \quad (7)$$

$$Gap = \frac{L}{200} \quad (8)$$

dimana SD merupakan jarak antar *director* dan L adalah panjang *dipole*.

III. METODE DESAIN

A. Penentuan Spesifikasi Antena

Spesifikasi antena yang dirancang pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

B. Simulasi Menggunakan Software CST

Simulasi antena Yagi bertujuan untuk mendesain antena sebelum dilakukan fabrikasi. Tahap simulasi ini dilakukan optimasi dengan cara menetapkan nilai parameter pada jarak antar *director*, jumlah *director*, parameter bahan, dan parameter bentuk reflektor dari antena Yagi. Hasil terbaik dari simulasi selanjutnya akan difabrikasi, untuk kemudian dilakukan uji coba di lapangan menggunakan UAV yang diterbangkan sejauh 2.5 km. Diagram alir simulasi dapat dilihat pada Gambar 1.

C. Pengujian di Lapangan

Gambar 2 menunjukkan skenario pengujian antena ketika antena pemancar dipasang di UAV kemudian diterbangkan dengan ketinggian terbang 100 meter dan jarak tempuh pengujian pertama 1.5 kilometer dan pengujian kedua 2.5 kilometer. Jalur misi pengujian dapat dilihat pada Gambar 3. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kuat sinyal yang diterima oleh antena Yagi yang dirancang sebagai antena penerima pada GCS.

Nilai yang diperoleh dilihat pada *software mission planner* yang terhubung dengan antena Yagi, dimana nilai kuat sinyal yang tertera diukur dalam satuan persentase (%) dan nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI). Data yang dihasilkan kemudian dicatat dalam tabel.

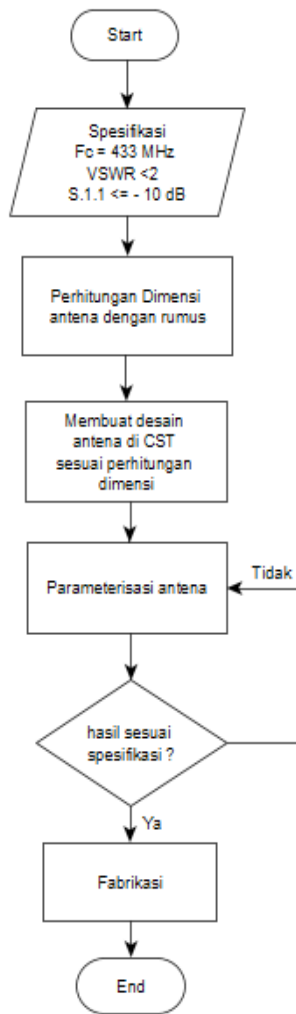
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Simulasi

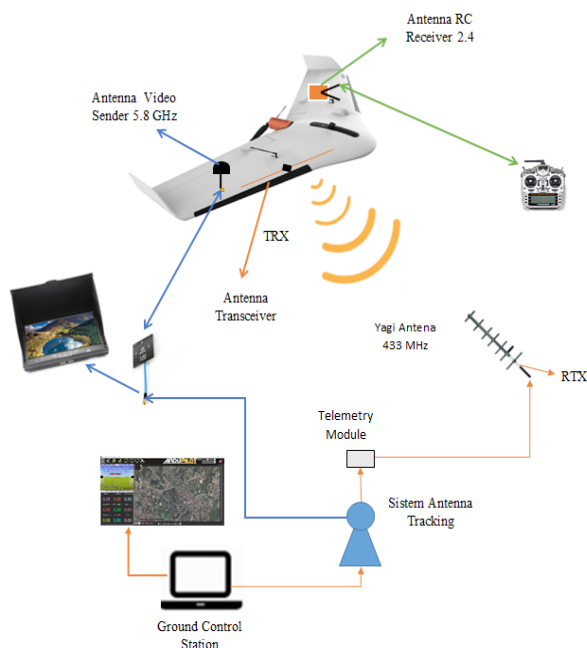
Pada simulasi dengan CST, parameter *return loss* dinotasikan sebagai *scattering 1.1* atau lebih dikenal dengan sebutan parameter S_{11} . Gambar 4 menunjukkan nilai S_{11} yang dihasilkan antena saat dilakukan parameterisasi dengan menambah jumlah *director* dengan jarak antar *director* sama besar. Sumbu x pada grafik tersebut menunjukkan nilai frekuensi dari antena yang

Tabel 1. Spesifikasi desain antena

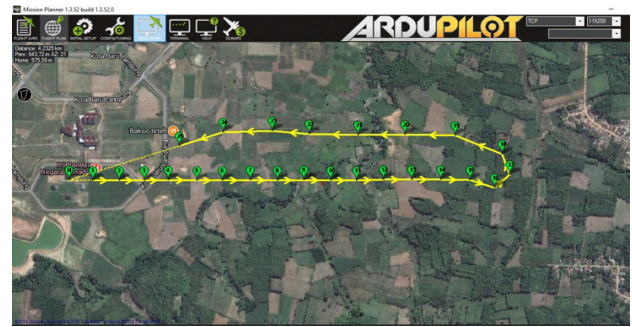
No	Parameter	Nilai
1.	F_c	433 MHz
2.	Return loss	< -10 dB
3.	Gain	>10 dB
4.	VSWR	< 2
5.	Daya masukan	100 – 200 mW
6.	Impedansi masukan	50 Ohm
7.	Tipe konektor	subminiature version A (SMA)



Gambar 1. Diagram alir simulasi



Gambar 2. Skenario pengujian di lapangan

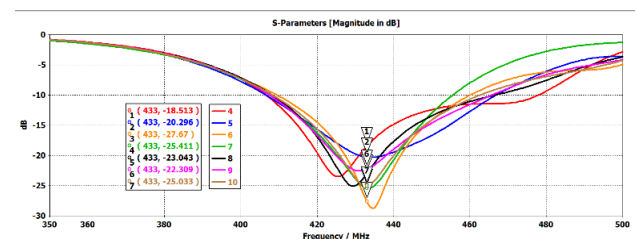


Gambar 3. Jalur misi pengujian

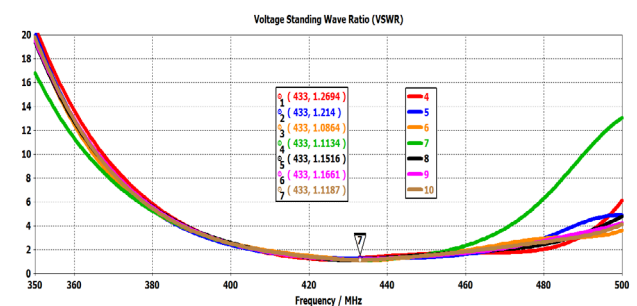
dibuat, sedangkan sumbu y menunjukkan besarnya nilai S_{11} yang dihasilkan oleh antenna. Sedangkan titik nomor satu sampai dengan nomor delapan menunjukkan nilai frekuensi dan nilai S_{11} yang dihasilkan antenna. Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai S_{11} mengalami kenaikan saat jumlah *director* ditambah pada frekuensi 433 MHz. Hal ini terlihat pada saat jumlah *director* sebanyak empat buah maka nilai S_{11} adalah sebesar -18.513 dB. Sedangkan saat jumlah *director* sebanyak sepuluh buah maka nilai S_{11} meningkat menjadi -25.033 dB.

Sementara itu, Gambar 5. menunjukkan nilai VSWR saat parameterisasi jumlah *director*. Sumbu x pada grafik di Gambar 5 menunjukkan nilai frekuensi dari antenna yang dibuat, sedangkan sumbu y menunjukkan besarnya nilai VSWR yang dihasilkan oleh antenna. Titik nomor satu sampai delapan menunjukkan nilai frekuensi dan nilai VSWR yang dihasilkan antenna. Dari grafik tersebut terlihat nilai VSWR yang dihasilkan mengalami penurunan saat jumlah *director* ditambah. Saat *director* sebanyak empat buah nilai VSWR adalah 1.2694, sedangkan saat jumlah *director* sebanyak 10 buah maka nilai VSWR turun menjadi 1.1187.

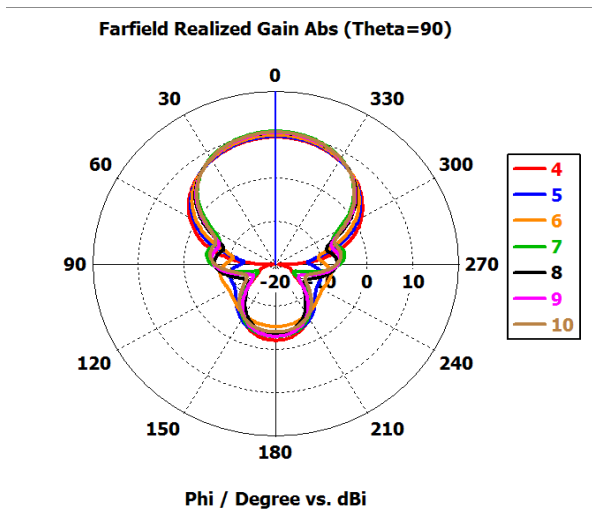
Selanjutnya pada Gambar 6 dapat dilihat nilai *gain* yang didapat dari hasil simulasi antenna saat dilakukan



Gambar 4. Nilai return loss hasil simulasi



Gambar 5. VSWR hasil simulasi



Gambar 6 . Nilai gain hasil simulasi

penambahan jumlah *director*. Hasil yang ditampilkan menunjukkan nilai *gain* yang didapat meningkat saat jumlah *director* bertambah. Saat jumlah *director* sebanyak empat buah maka nilai *gain* yang didapat sebesar 9.38 dB. Sedangkan saat jumlah *director* sebanyak 10 buah, nilai *gain* meningkat menjadi 10.6 dB.

Rincian nilai *return loss*, VSWR, dan *gain* dari hasil simulasi secara lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.

B. Hasil Fabrikasi

Berdasarkan hasil simulasi, yang ditunjukkan pada Tabel 2, maka model antena yang dipilih untuk difabrikasi adalah antena Yagi reflektor datar (*flat reflector*), dengan jumlah *director* sebanyak tujuh *director*, dan menggunakan material tembaga. Desain ini dipilih karena memenuhi spesifikasi antena yang diharapkan yakni memiliki nilai VSWR < 2 dan *return loss* (S_{11}) ≤ -10 dB, dengan *gain* > 10 dB. Spesifikasi lengkap model antena Yagi yang dipilih setelah disimulasikan dapat dilihat pada Tabel 3. Produk antena hasil fabrikasi dapat dilihat pada Gambar 7.

Setelah difabrikasi, antena Yagi untuk GCS ini diuji dengan mengukur nilai *return loss*, VSWR, dan *gain* yang dihasilkan dengan menggunakan perangkat *radio frequency vector impedance analyzer*, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8.

Tabel 2. Hasil parameterisasi jumlah *director* dengan jarak sama besar dengan reflektor datar (*flat reflector*) dan bahan tembaga

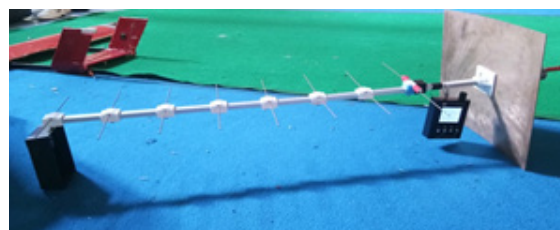
Jumlah Director	Jarak (cm)	VSWR	Return loss (dB)	Gain (dB)
4	8	1.2694	-18.513	9.38
5	8	1.214	-20.296	9.59
6	8	1.0864	-27.67	9.86
7	8	1.1134	-25.411	10.7
8	8	1.1516	-23.043	10.4
9	8	1.1661	-22.309	10.4
10	8	1.1187	-25.033	10.6

Tabel 3. Spesifikasi Antena hasil simulasi

No.	Spesifikasi Antena berdasarkan simulasi	Keterangan
1.	Panjang Driven / Dipole	31.9 cm
2.	Jumlah Director	7
3.	Panjang Director 1	28 cm
4.	Panjang Director 2	26 cm
5.	Panjang Director 3	25 cm
6.	Panjang Director 4	24 cm
7.	Panjang Director 5	23 cm
8.	Panjang Director 6	22 cm
9.	Panjang Director 7	20 cm
10.	Bentuk Reflektor	Flat
11.	Ukuran Reflektor	34 x 33 cm
12.	VSWR	1.1134
13.	Gain	10.7 dB
14.	S.I.I	-25.411
15.	Pola Radiasi	Directional
16.	Panjang Boom	105 cm
17.	Jarak antar director	10 cm
18.	Jarak Driven ke director	11 cm
19.	Jarak Driven ke reflektor	18 cm
20.	Diameter elemen	0.25 cm

Nilai hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan nilai hasil simulasi untuk melihat perbedaan nilai-nilai parameter setelah antena difabrikasi. Perbandingan ini disajikan pada Tabel 4.

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai VSWR dan *return loss* hasil simulasi berbeda dengan dengan hasil pengukuran.. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya terdapat rugi-rugi dari kabel *coaxial* ke antena. Selain itu karena dalam fabrikasi antena dilakukan sendiri



Gambar 7. Antena hasil fabrikasi



Gambar 8. hasil pengukuran menggunakan RF vector impedance analyzer

Tabel 4. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Frekuensi Kerja	433 MHz	433 MHz
VSWR	1.1134	2.165
Return Loss (dB)	-25.411	-8.677
Impedansi (Ω)	54.185	39.70
Pola Radiasi	directional	directional
Gain (dB)	10.7	10.16

(*handmade*) maka ukuran dan dimensi antenna menjadi kurang presisi. *Error* juga mungkin terjadi disebabkan pada saat simulasi semua keadaan lingkungan yang di *setting* adalah keadaan ideal tanpa pengaruh interferensi, sedangkan dalam fabrikasi dan pengukuran tidak dalam lingkungan *echoic chamber* yang ideal sehingga pengaruh interferensi sangat mungkin terjadi.

C. Hasil Pengujian

Tahap berikutnya adalah melakukan uji coba lapangan dengan menempatkan produk antenna Yagi hasil fabrikasi sebagai antenna GCS, dengan menjalankan misi terbang sesuai dengan skenario yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Tabel 5 memperlihatkan data hasil pengujian komunikasi antara UAV dan GCS saat UAV terbang dengan jarak maksimum 1,5 km dari GCS.

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa kualitas sinyal terukur pada antenna cukup baik dan sudah sesuai dengan simulasi yaitu di atas 90%. Sedangkan kuat sinyal pada jarak 1.5 km adalah sebesar -73.32 dBm, dengan RSSI sebesar 102.

Pengujian kinerja produk antenna hasil fabrikasi dilakukan lebih lanjut dengan memperbesar jarak komunikasi antara UAV dan GCS menjadi maksimum 2,5 km. Hasil pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 6.

Dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa kualitas sinyal pada

Tabel 5. Hasil pengujian jarak 1.5 km

No.	Jarak (m)	Kuat Sinyal (%)	Kuat sinyal (dBm)	RSSI
1.	100	94	-45.42	155
2.	200	95	-50.68	145
3.	300	95	-52.26	142
4.	400	96	-53.84	139
5.	500	96	-53.32	140
6.	600	96	-53.32	140
7.	700	97	-53.32	140
8.	800	97	-55.42	136
9.	900	98	-59.63	128
10.	1000	98	-59.63	128
11.	1100	99	-59.63	128
12.	1200	99	-59.63	128
13.	1300	99	-61.74	124
14.	1400	98	-61.74	124
15.	1500	98	-63.84	120

Tabel 6. Hasil pengujian jarak 2.5 km

No.	Jarak (m)	Kuat Sinyal (%)	Kuat sinyal (dBm)	RSSI
1.	1600	97	-64.89	118
2.	1700	99	-65.95	116
3.	1800	99	-67.00	114
4.	1900	99	-68.05	112
5.	2000	99	-68.05	112
6.	2100	98	-68.05	112
7.	2200	96	-68.05	112
8.	2300	96	-68.58	111
9.	2400	97	-70.68	107
10.	2500	96	-70.68	107

antenna hasil fabrikasi masih cukup baik yaitu masih di atas 90% dengan kuat sinyal dalam dBm pada jarak 2.5 km sebesar -70.68 dBm dan RSSI sebesar 107. Pengujian ini hanya dilakukan sampai jarak 2.5 km disebabkan terbatasnya kemampuan komponen catu daya (baterai) wahana UAV.

V. KESIMPULAN

Setelah melalui semua tahapan dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa antenna Yagi untuk *Ground Control Station* (GCS) yang paling optimum adalah antenna Yagi dengan reflektor datar (*flat reflector*) dengan jumlah *director* sebanyak tujuh buah. Hasil simulasi menunjukkan bahwa antenna Yagi GCS dengan 7 *director* menghasilkan nilai *gain* sebesar 10,7 dB dengan material tembaga. Hasil pengujian di lapangan menunjukkan bahwa produk antenna Yagi yang ditempatkan di GCS mampu mendukung komunikasi telemetri antara GCS dan wahana (*Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) hingga pada jarak 2.5 km. Pada jarak tersebut kuat sinyal yang diterima antenna masih di atas 90% dengan nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) sebesar -70.68 dBm. Meskipun telah memberikan hasil yang sangat baik, namun performa antenna yang dirancang ini masih dapat ditingkatkan. Penggunaan perangkat-perangkat yang lebih presisi, yang didukung dengan ketersediaan *echoic chamber* saat pengujian hasil fabrikasi, terbukti dapat memperkecil *gap* nilai hasil simulasi dan hasil pengukuran setelah fabrikasi. Secara umum, antenna yang dibuat dapat digunakan sebagai antenna GCS UAV.

REFERENSI

- [1] G. Vachtsevanos and K. Valavanis, *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*, Springer Netherlands, 2015.
- [2] M. Rushdi, T. Tennakoon, K. Perera, A. Wathsalya, and S. Munasinghe, "Development of a small-scale autonomous UAV for research and development," In Proc. IEEE International Conference on Information and Automation for Sustainability, 2016, pp. 1-6.
- [3] J. Hodgson, S. Baylis, R. Mott, A. Herrod, and R. Clarke, "Precision wildlife monitoring using unmanned aerial vehicles," *Nature Sci Rep* 6 (22574), 2016.

- [4] H. Lauterback, C. Koch, R. Hess, D. Eck, K. Schilling, and A. Nuchter, "The Eins3D project - Instantaneous UAV- Based 3D Mapping for search and Rescue Applications," In Proc. IEEE International Symposium on Safety and Rescue Application (SRRR), 2019, pp. 1-6.
- [5] R. C. Johnson, *Antena Engineering Handbook*. 3rd Eds. McGraw-Hill, 1993.
- [6] E. D. Wardihani, W. Fawazi, and E. Triyono, "Implementation and performance analysis of the parabolic antena for improving reach on quadcopter," In Proc. IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Comnetsat), 2017, pp. 74-80.
- [7] M. Mahardika, G. Nugroho, and E. Y. Prasetyo, "UAV long range surveillance system based on BiQuad antena for the Ground Control Station," In Proc. IEEE Student Conference on Research and Development (SCOReD), 2016, pp. 1-5.
- [8] V. Bankey, and N. A. Kumar, "Design of a Yagi-Uda Antena With Gain and Bandwidth Enhancement for Wi-Fi and Wi-Max Applications," *International Journal of Antennas*, Vol. 2, No. 1, Jan., pp. 1-14, 2016.
- [9] A. Ramos, T. Varum, dan J. N. Matos, "Integrated Multilayer Yagi Antena for 5G," In Proc. IEEE International Symposium on Antena and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting, 2019, pp. 33-34.
- [10] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*. Canada: WILEY, 2016.
- [11] J. D. Kraus, *Antenas*, Singapore: McGraw-Hill, 1988.