

PERANCANGAN ANTENA *CLOVERLEAF* UNTUK KOMUNIKASI *UNMANNED AERIAL VEHICLE* (UAV) FREKUENSI 2,4 GHz

Ibrahim^{*}), Imam Santoso, and Teguh Prakoso

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*}E-mail: ibrahim@student.undip.ac.id

Abstrak

Maneuver pesawat tanpa awak atau Unmanned Aerial Vehicle (UAV) menyebabkan pancaran pola radiasi antena dan polarisasinya berubah. Antena cloverleaf memiliki polarisasi antena circular yang digunakan untuk mengatasi cross polarization yang terdapat pada polarisasi antena linier. Perancangan antena cloverleaf pada frekuensi 2,4 GHz yang dilakukan dengan studi parameter didapatkan parameter paling berpengaruh pada S_{11} , VSWR dan gain adalah panjang kabel koaksial dan kemiringan elemen antena. Perkiraan jarak sistem komunikasi menggunakan antena desain optimal adalah sejauh 1,66 km pada sudut elevasi 0° sedangkan posisi paling optimal untuk penempatan antena adalah pada posisi tengah pesawat dengan nilai VSWR 1,47 pada frekuensi 2,335 GHz dan bandwidth-nya 329 MHz. Hasil pengukuran antena cloverleaf desain optimal: S_{11} -48 dB dan VSWR 1:1,007 pada frekuensi 2,45 GHz, bandwidth 600 MHz pada VSWR $\leq 1:2$, pola radiasi omnidirectional, polarisasi elips pada sudut ϕ 0° θ 90° dengan axial ratio 1,93, gain linear 3,29 dBil, dan gain sirkular 5,38 dBic. Studi parameter terhadap desain awal antena memperbaiki nilai S_{11} , VSWR, bandwidth dan gain, tetapi nilai axial ratio tidak sebaik desain awal. Pengujian pada kondisi line of sight pada jarak 810 meter menunjukkan antena yg diuji dapat bekerja dengan baik pada semua sudut pengujian, sedangkan antena linear komunikasinya terganggu.

Kata Kunci: antena UAV, antena cloverleaf, polarisasi sirkuler, omnidirectional.

Abstract

Maneuvers variety of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) that cause radiation pattern and polarization which are not optimal for transceiver. Cloverleaf design has circular polarization antenna to overcome cross-polarization that occur in linear polarization antenna. By using parametric study S_{11} , VSWR and gain of the *cloverleaf* antenna at 2,4 GHz are most effected by the length of coaxial cable and the degree tilt of antenna element. Estimated farthest distance at 0° elevation angle for optimal design is 1,66 km. The most optimal placement of the antenna is the center position of the plane with 1:1,47 VSWR, 2,335 GHz resonance frequency of and 329 MHz bandwidth. By using measurement result cloverleaf antenna optimum design has -48 dB S_{11} and 1: 1,007 VSWR, 2,45 GHz frequency resonance, 600 MHz bandwidth at VSWR under 1:2, omnidirectional radiation pattern, ellipse polarization at θ 0° and ϕ 90° with 1,93 axial ratio, 3,29 dBil linear gain and 5,38 dBic circular gain. By using parametric study the optimal design can improve S_{11} , VSWR, bandwidth and gain, but decrease value of the axial ratio. Antenna tests on line of sight at 810 meter show that cloverleaf antenna can work well at all angles while the linear antenna is disrupted.

Keywords: UAV antenna, cloverleaf antenna, circular polarization, omnidirectional

1. Pendahuluan

Unmanned aerial vehicle (UAV) atau pesawat tanpa awak adalah pesawat yang dikendalikan oleh komputer melalui jaringan nirkabel radio yang berada di *ground station controller*. Seiring dengan luasnya penggunaan UAV munculah permasalahan dalam perancangan baik dalam sistem model ataupun system transmisi mulai muncul seiring dengan meluasnya lingkup penggunaan dan fungsi dari UAV[1]. Antena yang digunakan pada perangkat pengendali jarak jauh pesawat UAV haruslah mampu

menjaga komunikasi tetap terhubung pada sudut-sudut manuver pesawat UAV. Berdasarkan hal tersebut, maka antena yang digunakan pada pesawat dirancang dengan pola radiasi *omnidirectional* dan polarisasinya sirkuler. Pola radiasi *omnidirectional* membuat antena dapat menerima sinyal 360° pada sumbu horizontal atau vertical dan polarisasi sirkuler membuat antena tahan terhadap polarisasi yang tidak sesuai (*polarization mismatch*). Ada beberapa antena yang digunakan pada UAV seperti antena dipole, antena *skew-planar*, antena *Cloverleaf* dan antena *Patch*. Antena *cloverleaf* yaitu antena dengan 3

daun antenna yang terpisah 120 derajat. Antena *Cloverleaf* memiliki polarisasi sirkular dan pola radiasi *omnidirectional* [2]. Desain antenna ini juga dikenal dalam prinsip dasar dan konstruksi sebagai antenna *big wheel* [3]. Pada penelitian sebelumnya antenna *cloverleaf* digunakan dalam berbagai bidang baik dalam bentuk mikrostrip seperti antenna *cloverleaf* untuk pengukuran CHIME (Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment) pada pita frekuensi 400-800 MHz [4] dan bentuk antenna kawat seperti antenna *Clover-leaf* yang digunakan sebagai Pemancar F.M [5]. Antena *clover-leaf* juga dapat dirancang untuk penggunaan pada frekuensi THz seperti desain antenna *clover-leaf* untuk antenna coupled bolometer pengukuran temperatur ruangan pada band 0,5 -1,5 THz [6] dan Antena *clover-leaf* untuk photomixer pada band 0,1-10 THz [7].

2. Metode

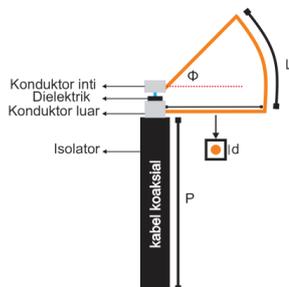
2.1. Spesifikasi antenna

Antena yang dirancang adalah antenna *cloverleaf* dengan spesifikasi:

- Frekuensi kerja 2,402 GHz - 2,483 GHz
- Nilai $S_{11} \leq -10\text{dB}$ pada frekuensi kerja
- Pola radiasi *omnidirectional*
- Polarisasi sirkular

2.2. Desain antenna *cloverleaf*

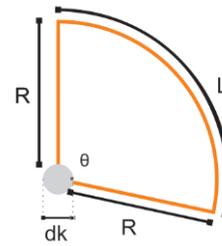
Antena *cloverleaf* terdiri dari 3 buah elemen antenna yang dimiringkan sebesar sudut " ϕ ". Salah satu sisi dari tiap elemen terhubung ke konduktor dalam dan sisi lain terhubung ke konduktor luar dari kabel koaksial. L adalah panjang lengkung kawat dari elemen antenna dan R adalah jari-jari dari elemen antenna. Kombinasi dari L dan R membentuk sudut elemen antenna " θ ", P adalah panjang dari kabel koaksial, d adalah diameter dari ketebalan kawat tembaga dan dk adalah diameter luar kabel. Panjang total dari elemen antenna yang sama besar dengan 1λ pada frekuensi kerja antenna. Desain ukuran Antena dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Gambaran Antena *cloverleaf* dengan 1 buah element

Panjang total (L_t) dari elemen antenna (keliling elemen) yang sama besar dengan 1λ pada frekuensi kerja antenna diperoleh menggunakan Persamaan 1.

$$L_t = \lambda = L + 2R \quad (1)$$



Gambar 2. Desain ukuran 1 buah elemen antenna *cloverleaf*.

2.3. Simulasi dan Studi parameter antenna

2.3.1. Desain awal antenna *cloverleaf*

Desain awal antenna *cloverleaf* memiliki dimensi antenna Panjang gelombang 125 mm, Ketebalan kawat 0,8 mm Sudut elemen antenna 106° , Sudut kemiringan elemen 45° , Panjang kabel 50 mm. Hasil simulasi antenna *cloverleaf* dapat dilihat pada Tabel 1.

2.3.2. Studi parameter antenna

Studi parameter antenna bertujuan untuk memperoleh hasil yang optimal dari sebuah desain antenna dengan membandingkan hasil-hasil simulasi dari perubahan parameter dimensi antenna. Parameter yang dianalisis pada penelitian ini adalah sudut elemen antenna, sudut kemiringan elemen antenna, ketebalan kawat tembaga dan panjang kabel koaksial. Simulasi antenna menggunakan perangkat lunak CST *microwave studio 2015* dengan fitur *parameter sweep*.

Hasil studi parameter menunjukkan dampak signifikan terhadap nilai VSWR, S_{11} dan *gain* secara urut adalah pada perubahan panjang kabel, kemiringan elemen, sudut elemen, dan ketebalan kawat.

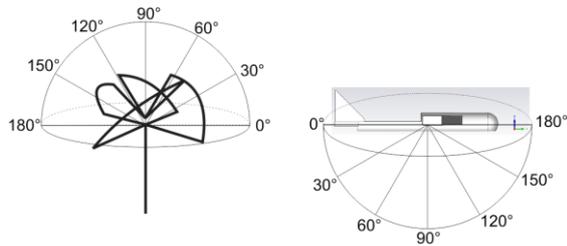
2.3.3. Desain optimal antenna *cloverleaf*

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari studi parameter antenna, desain antenna optimal memiliki dimensi antenna dengan sudut elemen antenna $96,63^\circ$, sudut kemiringan elemen antenna 50° , panjang kabel koaksial 90 mm dan diameter kawat tembaga 0,8 mm. Perbandingan hasil simulasi pada desain awal dengan desain akhir dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil simulasi antenna *cloverleaf* desain awal dan desain optimal.

Hasil simulasi	Desain Awal	Desain optimal
Frekuensi Resonansi (GHz)	2,442	2,46
S_{11}	-18,40	-39,86
VSWR	1,27	1,02
Bandwidth (MHz)	354	428,1
Pola radiasi	Omnidirectional	Omnidirectional
Axial Ratio (phi 0° theta 90°)	2,579	3,965
Polarisasi	elips	elips
Gain linier (dBil)	0,18	0,78
Gain sirkular (dBic)	1,67	2,39

2.3.4. Evaluasi desain antenna



(a) antena skew-planar (b) antena cloverleaf

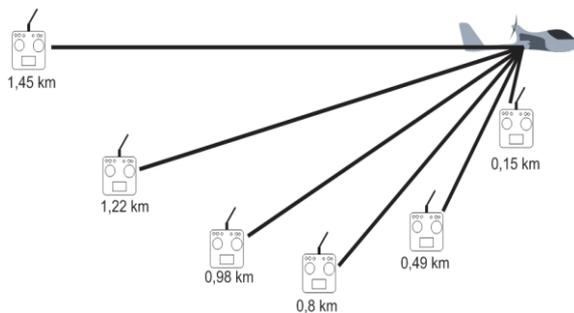
Gambar 2. Sudut elevasi antena skew planar dan cloverleaf.

Evaluasi desain antenna dilakukan dengan menggunakan perhitungan link budget antenna pada sudut terbang pesawat UAV. Perhitungan link budget antenna memperkirakan jarak terjauh berdasarkan perhitungan jarak komunikasi terjauh antara antenna pada sisi pemancar (antena skew-planar) menggunakan DJT Frysky 2,4 GHz Telemetry transmitter module dan antenna pada sisi penerima (antena cloverleaf) dengan penerimaan sinyal terendah menggunakan D8R-II Plus pada frekuensi kerja 2,4 GHz. Perhitungan ini merujuk pada evaluasi performansi dari istem radiosonde sonde 403 MHz [7] dengan menggunakan Persamaan 1 untuk menghitung EIRP dan Persamaan 2 untuk menghitung FSL didapatkan hasil perhitungan link budget antena skew-planar dan cloverleaf diilustrasikan pada Gambar 2. Hasil dari perhitungan jarak terjauh dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

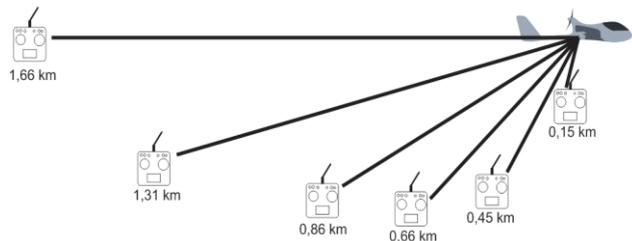
$$EIRP \text{ (dBm)} = P_{tx} \text{ (dBm)} + G_{tx} \text{ (dB)} - \text{losses (dB)} \quad (2)$$

$$FSL \text{ (dB)} = 32,4 + 20 \log f \text{ (MHz)} + 20 \log d \text{ (km)} \quad (3)$$

P_{tx} adalah daya pemancar dalam dBm, G_{tx} adalah penguatan gain pemancar, f adalah frekuensi kerja antenna, dan d adalah jarak komunikasi antenna.



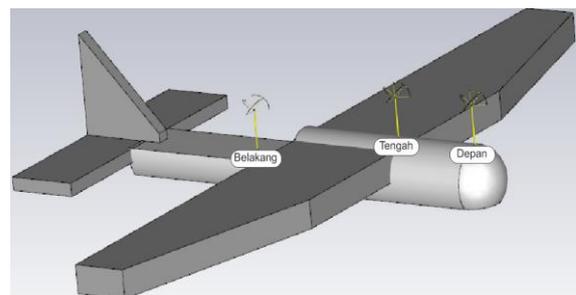
Gambar 3. Perkiraan jarak terbang pesawat UAV menggunakan antena cloverleaf dan antena cloverleaf desain awal.



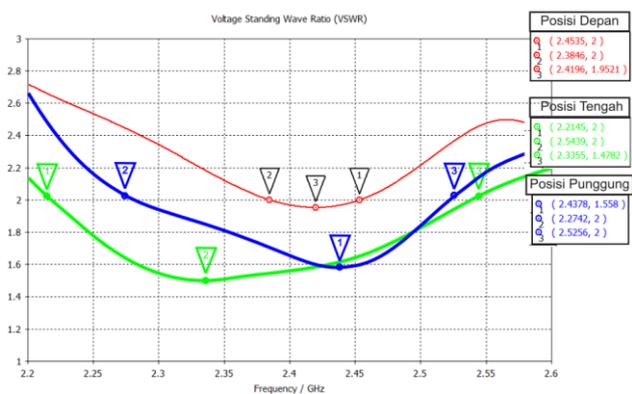
Gambar 4. Perkiraan jarak terbang pesawat UAV menggunakan antena cloverleaf dan antena cloverleaf desain optimal.

2.3.5. Penentuan posisi antenna pada pesawat

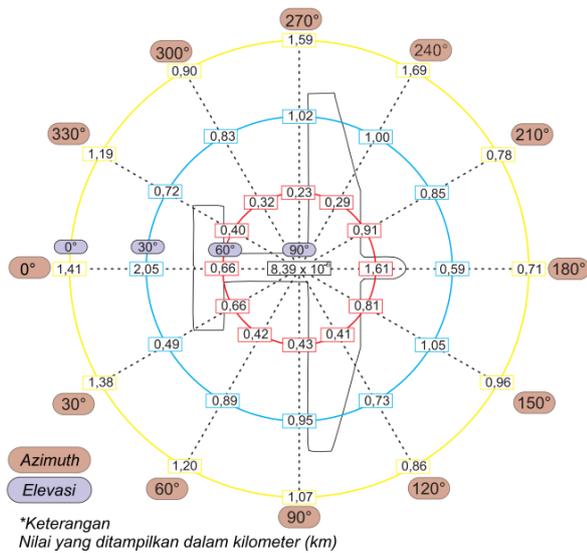
Penentuan posisi antenna pada pesawat berdasarkan simulasi yang dilakukan pada tiga posisi yaitu posisi depan, posisi tengah dan posisi punggung pesawat seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5. Hasil simulasi perbandingan VSWR pada ketiga posisi diperlihatkan pada Gambar 6. Gambar 7 merupakan diagram jarak dari antenna pada posisi tengah dengan sudut pandang pengamatan berdasarkan Gambar 2.



Gambar 5. Posisi antenna pada pesawat.



Gambar 6. Nilai VSWR posisi antenna pada pesawat.



Gambar 7. Diagram jarak antenna pada posisi tengah pesawat.

2.3.6. Fabrikasi antenna cloverleaf

Penelitian ini merancang 2 buah antenna *cloverleaf* untuk membandingkan kinerja keduanya yaitu antenna *cloverleaf* desain awal dan antenna *cloverleaf* desain optimal. Spesifikasi dan dimensi perancangan antenna *cloverleaf* sesuai dengan parameter yang didapatkan dari studi parameter simulasi antenna. Perancangan antenna menggunakan port SMA dengan kabel koaksial semi Rigid Tipe 141.



Gambar 8. Hasil Fabrikasi antenna *cloverleaf* desain optimal.

3. Hasil dan Analisa

3.1. Pengukuran besaran antenna

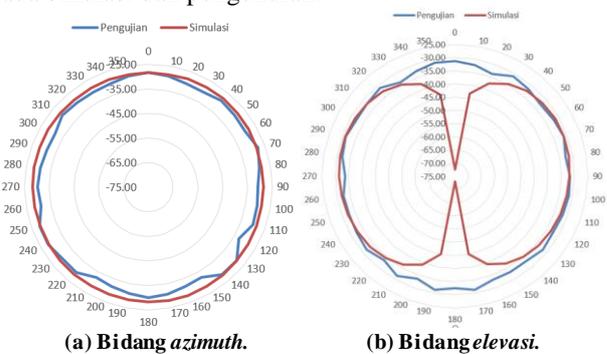
Parameter kinerja antenna yang diukur yaitu parameter S_{11} , VSWR, lebar pita, gain, pola radiasi, dan polarisasi antenna. Pengukuran antenna dilakukan terhadap 2 buah antenna *cloverleaf* yaitu *cloverleaf* desain awal dan *cloverleaf* desain optimal. Hasil pengukuran antenna ditampilkan pada Tabel 2. Spesifikasi yang dirancang sudah sesuai dengan pengukuran.

Tabel 2. Hasil pengukuran antenna *cloverleaf* desain awal dan desain optimal

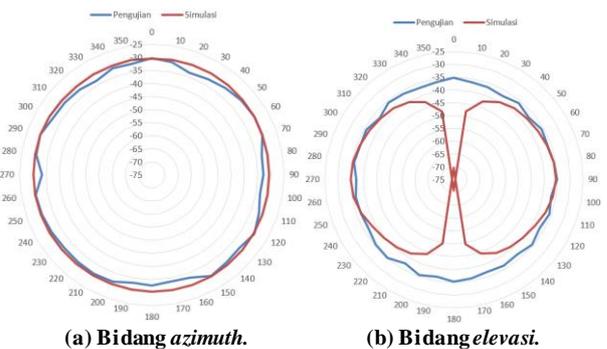
Hasil Pengukuran	Desain Awal	Desain optimal
Frekuensi Resonansi (GHz)	2,43	2,45
S_{11}	-27,741	-48,172
VSWR	1,082	1,007
Bandwidth (MHz)	230	600
Pola radiasi	Omnidirectional	Omnidirectional
Axial Ratio ($\phi = 0^\circ$ theta 90°)	1,37	1,93
Polarisasi	elips	Elips
Gain linier (dBil)	1,36	3,29
Gain sirkuler (dBic)	3,97,	5,38

3.1.1. Pengukuran pola radiasi

Pengukuran pola radiasi dan polarisasi antenna yang ideal adalah dilakukan di ruang tanpa gema untuk menghilangkan interferensi dari sinyal lain. Gambar 9 dan Gambar 10 memperlihatkan perbandingan pola radiasi pada simulasi dan pengukuran.



Gambar 9. Perbandingan pola radiasi antenna *cloverleaf* desain awal.



Gambar 10. Perbandingan pola radiasi antenna *cloverleaf* desain optimal.

3.1.2. Pengukuran polarisasi

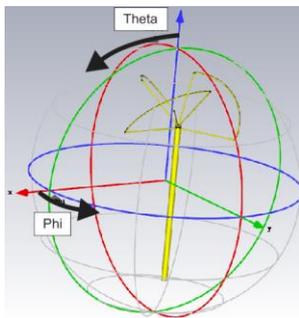
Pengukuran polarisasi antenna *cloverleaf* menggunakan pengaturan antenna *cloverleaf* berperan sebagai antenna penerima dengan antenna *Horn* berpolarisasi linier sebagai pemancar. Antenna diputar pada titik tengah antenna dengan sudut $\phi = 90^\circ$ mulai dari sudut $\theta = 0^\circ$ hingga 350° dengan arah gelombang pemancar dari sumbu x dengan

mengacu pada ilustrasi sudut antena *cloverleaf* pada Gambar 11.

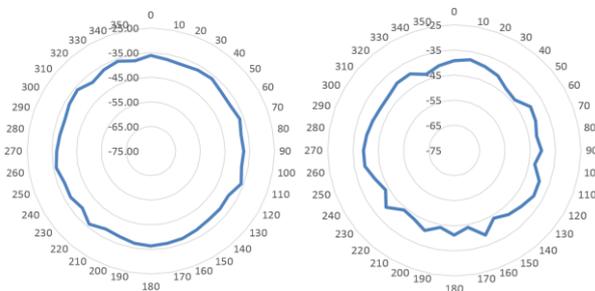
Hasil pengukuran polarisasi antena desain awal dan desain optimal adalah nilai *axial ratio* pada sudut ϕ 0° dan θ 90° dengan menggunakan Persamaan 4.

$$AR = \frac{E_{mayor}}{E_{minor}} = \frac{\sqrt{P_{watt\ mayor}}}{\sqrt{P_{watt\ minor}}} \quad (4)$$

E_{mayor} adalah daya terima terkuat pada pengukuran pola radiasi sedangkan E_{minor} adalah daya terima terlemah dari pengukuran polarisasi



Gambar 11. Ilustrasi sudut antena *cloverleaf*.



(a) desain awal.

(b) desain optimal.

Gambar 12. Perbandingan polarisasi antena *cloverleaf*.

Nilai *axial ratio* desain awal pada simulasi adalah 2,57 dan pada pengukuran adalah 1,37. Nilai *axial ratio* desain optimal pada simulasi adalah 3,96 dan pada pengukuran 1,93. Nilai tersebut menunjukkan bahwa polarisasi hasil pengukuran desain awal dan desain optimal bersifat elips yang hampir mendekati sirkuler karena nilainya tidak terpaut jauh dengan nilai 1 yaitu dengan selisih 0,37 pada desain awal dan 0,93 pada desain optimal.

3.2. Pengujian antena *cloverleaf*

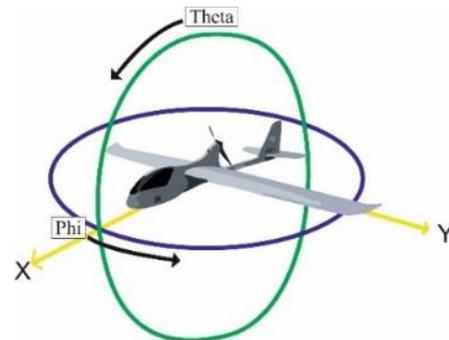
Pengujian antena pada perangkat pesawat UAV dilakukan dengan menempatkan antena *skew-planar* pada *ground station controller* dan antena *cloverleaf* pada antena pesawat. Pengujian antena pada UAV dilakukan di luar

laboratorium secara *line of sight* (LOS) dan tanpa LOS tanpa uji terbang.

Pengujian dilakukan dengan dan memutar pesawat pada sudut θ dengan ϕ 90° dan θ dengan ϕ 0° dengan hasil pengujian berupa kemampuan pesawat menggerakkan motor yang digunakan sebagai pengendali arah terbang pesawat. Sumbu X adalah arah gelombang datang pada sisi pesawat. Sudut ϕ dan θ pada pesawat UAV ditunjukkan pada Gambar 13.

Pengujian ini juga membandingkan performa antena bawaan yaitu *monopole* polarisasi linier pada sisi pemancar dan penerima pesawat UAV dengan antena *skew planar* polarisasi sirkuler pada sisi pemancar pesawat UAV dan antena *clover-leaf* pada sisi penerima pesawat UAV.

3.2.1. Pengujian tanpa LOS



Gambar 13. Ilustrasi sudut θ dan ϕ pada pesawat UAV.

Hasil pengujian berupa jarak terjauh pesawat dapat menggerakkan motor pada sudut pengujian. Pengujian dilakukan 2 kali dengan lokasi yang berbeda. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian 2 tanpa LOS.

Hasil dari pengujian 1 dan 2 menunjukkan bahwa antena polarisasi sirkuler (*cloverleaf* dan *skew-planar*) memiliki jarak jangkauan yang lebih jauh dibanding antena monopole pesawat UAV. Hasil pengujian tidak sesuai dengan *link budget* jarak terjauh antena karena pada pengujian tanpa LOS terdapat banyak penghalang yang mengakibatkan efek *multipath* dan *shadowing* yang dapat mempengaruhi daya penerimaan sehingga dapat melemahkan sinyal.

Tabel 3. Hasil Pengujian 1 LOS.

Antena	Sudut theta (Phi 0°)	jarak (m)	Sudut theta (Phi 90°)	Jarak (m)
Monopole	0°	331	0°	331
	45°	333	45°	321
	90°	338	90°	326
Cloverleaf	0°	359	0°	359
	45°	354	45°	360
	90°	347	90°	359

Tabel 4. Hasil Pengujian 2 LOS.

Antena	Sudut theta (Phi 0°)	Jarak (m)	Sudut theta (Phi 90°)	Jarak (m)
Monopole	0°	394	0°	394
	45°	384	45°	394
	90°	371	90°	393
Cloverleaf	0°	454	0°	454
	45°	436	45°	453
	90°	424	90°	454

3.2.2. Pengujian tanpa LOS

Pengujian dengan LOS dilakukan pada dua tempat dengan jarak yang berbeda dengan pemancar dan penerima berada pada keadaan LOS. Hasil pengujian berupa kemampuan pesawat menggerakkan rotor pada sudut pengujian. Pengujian dilakukan 2 kali dengan jarak yang berbeda.

Tabel 5. Hasil Pengujian 1 tanpa LOS 589,79 m (Fakultas Kedokteran – Teknik Elektro S1).

Antena	Sudut theta (Phi 0°)	Terhubung	Sudut theta (Phi 90°)	Terhubung
Monopole	0°	v	0°	v
	45°	v	45°	v
	90°	v	90°	v
Cloverleaf	0°	v	0°	v
	45°	v	45°	v
	90°	v	90°	v

Tabel 7. Hasil Pengujian 2 tanpa LOS 810,38 m (Fakultas Kedokteran – Gedung ICT).

Antena	Sudut theta (Phi 0°)	Terhubung	Sudut theta (Phi 90°)	Terhubung
Monopole	0°	v*	0°	v*
	45°	v*	45°	-
	90°	-	90°	-
Cloverleaf	0°	V	0°	v
	45°	v	45°	v
	90°	v	90°	v

Keterangan :

- v : keadaan daya terima sinyal kuat
- v* : keadaan daya terima sinyal lemah
- : keadaan daya terima sinyal lemah

Hasil pengujian 1 dengan LOS menunjukkan bahwa kedua antenna masih dapat bekerja baik pada jarak LOS 589,42 m. antenna *monopole* dapat bekerja saat antenna pemancar pada posisi sama atau tegak lurus terhadap antenna penerima. Hal ini menunjukkan antenna tersebut tidak sepenuhnya linier dengan adanya komponen *cross polarization*. Hasil pengujian 2 dengan LOS menunjukkan bahwa antenna dengan polarisasi sirkular (*skew-planar* dan *clover-leaf*) dapat bekerja dengan baik pada jarak LOS 810,38 m. Antenna *monopole* tidak dapat bekerja dengan baik pada jarak LOS 810,38 m. Antenna *monopole* tidak dapat terhubung pada sudut 90° (*phi* 90°) karena antenna penerima dalam posisi tegak lurus terhadap antenna pemancar (*cross polarization*) yang mengakibatkan pelemahan daya terima. Daya terima berkurang sampai dengan tak terhingga pada saat 2 antenna polarisasi linear terhubung dalam keadaan saling tegak lurus[8].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini parameter antenna *cloverleaf* yang memberikan dampak signifikan terhadap nilai VSWR, S₁₁ dan *gain* secara urut adalah panjang kabel, kemiringan elemen, sudut elemen, dan ketebalan kawat. Nilai dari S₁₁, VSWR, *bandwidth*, dan *gain* desain hasil parameter studi lebih baik dibandingkan desain awal, akan tetapi nilai *axial ratio* tidak sebaik desain awal. Penempatan pada tengah pesawat adalah posisi yang paling optimal untuk penempatan antenna *cloverleaf* pada pesawat. Hasil perkiraan jarak terjauh adalah 1,66 km pada sudut 0°, Hasil pengujian membuktikan antenna dapat beroperasi dengan baik pada semua sudut pengujian pada jarak *line of sight* 810 m dan tidak *line of sight* sejauh 454 m. Komunikasi antenna *monopole* masih dapat terjadi pada kondisi antenna tegak lurus karena antenna ini tidak memiliki polarisasi yang murni linier. Perbedaan pola radiasi pengukuran dan simulasi disebabkan faktor fabrikasi antenna seperti pembuatan antenna yang dilakukan secara manual sehingga ukuran antenna kurang presisi dan teknik penyolderan yang memungkinkan penambahan panjang antenna.

LAMPIRAN A

Link Budget

Tabel 1. Power budget antenna pemancar Skew-Planar.

Elevasi	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Gain antenna pemancar (dBic)	2,183	1,364	0,3879	-0,2048	-2	-7,017	-103
Faktor koreksi (dBi)	3	3	3	3	3	3	3
Daya keluaran pemancar (dBm)	17,78	17,78	17,78	17,78	17,78	17,78	17,78
EIRP (dbm)	16,963	16,144	15,1679	14,5752	12,78	7,763	-88,22

Tabel 2. Power budget antenna penerima cloverleaf desain optimal.

Elevasi	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Gain antenna penerima (dBic)	2,639	1,429	-1,237	-2,889	-4,386	-8,778	-41,83
pointing-error loss (dB)	3	3	3	3	3	3	3
PLF (Polarization loss factor) (dB)	0	0	0	0	0	0	0
G _{Rx} (dB)	-0,361	-1,571	-4,237	-5,889	-7,386	-11,778	-44,83
Rugi-rugi kabel dan konektor (dB)	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182
Sensitivity of demodulator (Prx) (dBm)	-94	-94	-94	-94	-94	-94	-94
Daya minimal yang dibutuhkan (dBm)	-93,818	-93,818	-93,818	-93,818	-93,818	-93,818	-93,818

Tabel 3. Pengukuran jarak terjauh untuk ketersediaan 99,9%.

Elevasi	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Los keseluruhan (dB)	110,42	108,391	104,7489	102,5042	99,212	89,803	-39,232
Large Scale fading (dB)	0	0	0	0	0	0	0
Small scale fading (dB)	6	6	6	6	6	6	6
Free space path loss (dB)	104,42	102,391	98,7489	96,5042	93,212	83,803	-45,232
Jarak terjauh	1,662604	1,316251	0,865434	0,668342	0,457498	0,15486	5,47 10 ⁻⁸

Referensi

[1]. Y. Rafael, *Guidance of Unmanned Aerial Vehicle*, CRC Press, New York, 2011.

[2]. M. Leasure and M. S. Nolan, *Unmanned Aviation Systems: The Definitive Guide*. eAcademicBooks LLC, 2015.

[3]. M. Robert. WIFBY, D. Tony W1YNC, H. Gerald W1NJM, Lewis McCoy W1ICP, Mc. Thomas W1SL, *Radio Amateur's Handbook, fifty-third edition*, The American Audio Relay League, Inc., p.328 Newington, 1976.

[4]. M. Deng and D. Campbell-Wilson, "The cloverleaf antenna: A compact wide-bandwidth dual-polarization feed for CHIME," *Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM), 2014 16th International Symposium on*, Victoria, BC, 2014, pp. 1-2.

[5]. P. H. Smith, "Cloverleaf" Antenna for F.M. Broadcasting," in *Proceedings of the IRE*, vol. 35, no. 12, pp. 1556-1563, Dec. 1947

[6]. T. Morf, B. Klein, M. Despont, U. Drechsler, L. Kull, D. Corcos, D. Elad, N. Kaminski, U. R. Pfeiffer, R. Al, H. M. Keller, M. Braendli, C. Menolfi, M. Kossel, P. Andrea, T. Toifl, and D. Plettemeier, "Wide bandwidth room-temperature THz imaging array based on antenna-coupled MOSFET bolometer," *Sensors Actuators A. Phys.*, 2014.

[7]. Teguh Prakoso, Teguh Widiarsono, Sugihartono, Imam Idris, Ade Rukamana, "Design, Realization and performance evaluation of digital radiosonde system for 403 MHz band" *2006 International Joint Conference TSSA & WSSA*, Bandung, Dec 2006

[8]. Christof Rohner, *Antenna Basics*, Rohde&Schwarz, 2006.