



Dual band Dipole Folded End Antenna untuk Perangkat Penerima Radio Navigasi Udara

Muh Wildan^{1*}, Priyo Wibowo², Supriyanto³, Quwarazmi Golddin Al
Farras⁴, Muhammad Ikhsan Apriadi.H⁵

^{1,4,5}*Teknik Navigasi Udara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug,*

Jl. Raya PLP Curug, Serdang Wetan, Kec. Legok, Tangerang, Banten 15820

²*Pusat Riset Teknologi Pengujian dan Standar, Badan Riset dan Inovasi Nasional,
KST B.J. Habibie Serpong, Tangerang Selatan, Banten 15314*

³*Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,*

Jl. Jenderal Sudirman Km 3, Kotabumi, Kec. Purwakarta, Kota Cilegon, Banten 42435

*Email Penulis Koresponden: muh.wildan@ppicurug.ac.id

Abstrak :

Keselamatan penerbangan merupakan prioritas utama pada layanan navigasi udara. Pada konteks ini, *Instrument Landing System (ILS)* dan *Very High Frequency Omni Range (VOR)* berperan penting sebagai panduan arah terbang dan pendaratan pesawat di Bandar udara. Kedua instrument tersebut bekerja pada frekuensi VHF (108–118 MHz) dan UHF (328,6–335,4 MHz). Untuk menjamin kinerja VOR dan ILS dilakukan pengujian rutin yang masih belum praktis dengan penggunaan dua antena berbeda secara bergantian. Penelitian ini ditujukan untuk merancang antena *dual band* yang dapat beroperasi secara bersamaan pada frekuensi VOR dan ILS, sehingga pengujian instrument navigasi udara dapat dilakukan lebih praktis dan efisien dibandingkan dengan penggunaan dua antena single band secara bergantian. Metode penelitian meliputi perhitungan matematis, simulasi, dan validasi hasil melalui pengukuran. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rancangan antena *dual band* dapat beroperasi pada frekuensi VHF (113 MHz) dan UHF (332 MHz) dengan *return loss* masing-masing -23,82 dB dan -21,7 dB sedangkan nilai *gain* masing-masing 1,74 dBi dan 2,9 dBi. Hasil pengukuran menunjukkan nilai yang konsisten dengan simulasi. Antena hasil fabrikasi memiliki *return loss* -24,03 dB pada frekuensi 111,46 MHz dan -21,06 dB pada frekuensi 334,31 Mhz. Antena ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pengujian peralatan navigasi udara tanpa perlu mengganti antena secara manual.

This is an open access article under the [CC BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license



Kata Kunci:

dual band antenna;
dipole;
folded end;
navigasi udara;
VOR;
ILS

Riwayat Artikel:

Diserahkan 28 Januari, 2024
Direvisi 24 Juli, 2024
Diterima 25 Juli, 2024

DOI:

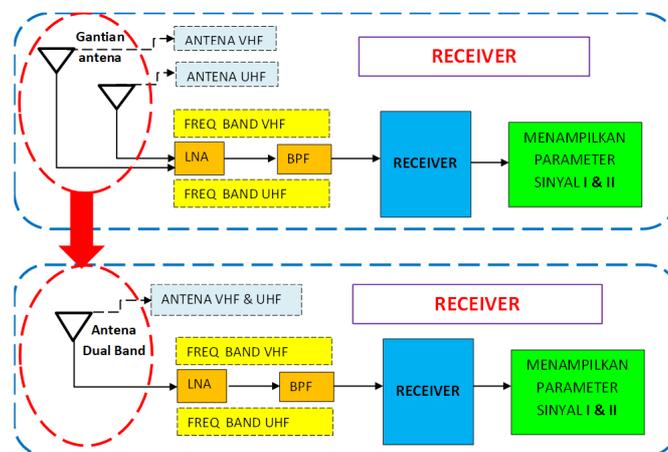
10.22441/incomtech.v14i3.25417

1. PENDAHULUAN

Tatanan navigasi penerbangan nasional merupakan hal yang mutlak harus dilaksanakan untuk mewujudkan penyelenggaraan pelayanan navigasi penerbangan yang andal dalam rangka keselamatan penerbangan sesuai dengan pasal 261 pada Undang Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 Tentang Penerbangan. Navigasi Penerbangan adalah proses mengarahkan gerak pesawat udara dari satu titik ke titik yg lain dengan selamat dan lancar untuk menghindari bahaya atau rintangan penerbangan [1]. Proses pemanduan arah gerak pesawat tersebut menggunakan peralatan rambu udara yang bekerja menggunakan gelombang radio yang disebut *Radio Navigation Aids* (RNA). Pemanduan arah terbang pesawat udara menggunakan peralatan yang disebut *Very High Frequency Omni Range* (VOR) sedangkan pemanduan pendaratan pesawat menggunakan peralatan yang disebut *Instrument Landing System* (ILS).

Untuk menjamin kinerja operasional layanan fasilitas navigasi udara dilakukan pengujian fasilitas navigasi VOR dan ILS di darat (*Ground Insepction*) dan di udara (*Flight Inspection*) [2] [3]. Peralatan navigasi udara dioperasikan pada frekuensi VHF yaitu 108 – 118 MHz menggunakan peralatan VOR dan ILS *Localizer* (LOC), sedangkan pada frekuensi UHF yaitu 328,6 MHz – 335,4 MHz menggunakan peralatan ILS *Glide Path* (GP) [4]. Pengujian kinerja fasilitas Navigasi yang dilakukan saat ini umumnya menggunakan *Portable ILS Receiver* (PIR) untuk mengukur parameter peralatan VOR dan ILS secara manual dengan pengambilan data oleh teknisi di lapangan pada titik pengujian yang telah ditentukan seperti pada *threshold runway* sebagai datum referensi ILS [5] [6] [7]. Pada pengujian tersebut diperlukan dua antenna berbeda antara peralatan VOR/ILS LOC dan ILS (GP) karena bekerja pada frekuensi yang berbeda, sehingga perlu dilakukan pemasangan antenna-antenna yang berbeda. Metode pengambilan data pada pengujian ini kurang praktis karena menggunakan dua antenna yang berbeda secara bergantian.

Antena *dual band* sangat penting dan diperlukan untuk mempercepat kegiatan pengujian fasilitas navigasi yang menggunakan PIR. Penggunaan antenna *dual band* memungkinkan pengujian dilakukan tanpa perlu mengganti antenna pada saat mengukur parameter VOR/ILS LOC dan ILS GP. Teknologi antenna *dual band* [8] [9] [10] dapat diaplikasikan pada *receiver* yang bekerja pada dua band frekuensi berbeda.



Gambar 1. Dual band concurrent receiver

Seperti ditunjukkan pada Gambar 1, model antenna *single band* pada VHF dan UHF yang pada umumnya dipasang terpisah, dapat digantikan dengan sebuah antenna *dual band*. Antenna *dual band* dapat memberikan kinerja yang setara atau lebih baik dibandingkan dengan antenna *single band* konvensional, terutama dalam hal efisiensi, keandalan, dan kemudahan penggunaan.

Pada penelitian-penelitian sebelumnya telah dilakukan perancangan antenna *dual band* dan memiliki parameter yang cukup baik dengan frekuensi kerja yang berbeda. Antenna dipole dapat dirancang menjadi antenna *dual band* yang bekerja pada frekuensi 0,8 GHz dan 2,4 GHz [11]. Pada penelitian yang lain telah dilakukan perancangan antenna untuk aplikasi penerbangan 1 GHz dan telekomunikasi *mobile* pada 2,48 GHz [12]. Sementara penelitian [13] dengan metode *insert feed rectangular patch* menghasilkan *dual band* pada frekuensi 2,35 GHz dan 3,7 GHz. Sedangkan untuk perancangan antenna *single band* pada perangkat penerima radio navigasi udara juga telah dibuat oleh [14] [15].

Pada penelitian ini antenna *dual band* dirancang agar mampu bekerja pada *band* VHF 108 -118 Mhz untuk aplikasi VOR/ILS LOC dan mampu bekerja pada *band* UHF 328,6 – 335,4 MHz untuk aplikasi ILS GP. Penelitian ini dibatasi pada perancangan antenna *dual band* dengan bahan aluminium yang memiliki jenis bahan ringan dan mudah dibentuk. Topologi antenna berupa antenna dua kutup (*dipole*) dengan tekukan pada ujung antenna (*folded end*) untuk menghasilkan respon frekuensi *dual band*.

2. METODE

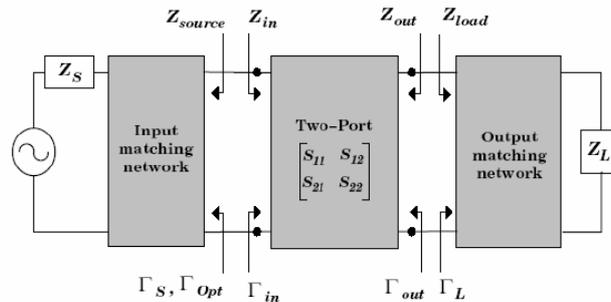
Metode penelitian yang digunakan melibatkan proses perancangan, fabrikasi dan analisis untuk memperoleh desain yang memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Penelitian ini difokuskan pada pengembangan antenna VOR/ILS yang mampu bekerja secara bersamaan (*concurrent*) pada frekuensi VHF dan UHF. Selain itu, metode simulasi digunakan untuk menghasilkan parameter kinerja antenna yang cukup baik pada spesifikasi antenna yang telah ditetapkan. Metode penelitian ini terbagi menjadi dua tahap utama, yaitu perancangan dan analisis. Metode perancangan digunakan untuk mendapatkan desain antenna secara matematis yang diikuti dengan simulasi menggunakan perangkat lunak CST. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi hasil simulasi dan memastikan bahwa desain yang dihasilkan memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Parameter-parameter kinerja yang dianalisis antara lain *input return loss* (S_{11}), VSWR, pola radiasi, dan *gain* antenna [16]

Return loss merupakan tingkat refleksi daya sinyal yang kembali ke sumber pada berbagai frekuensi atau dapat diartikan sebagai daya yang tidak diserap oleh beban [17][18][19]. Tingkat refleksi pada *input* (*input return loss*) dari sebuah antenna dapat menunjukkan adanya *mismatch* atau ketidakcocokan impedansi antara impedansi *input* (Z_{in}) antenna dengan impedansi saluran transmisi. *Input return loss* dapat diperoleh dari pengukuran *S-parameter* dalam besaran S_{11} dengan satuan desibel (dB). S_{11} dapat menunjukkan seberapa baik keselarasan antara impedansi sumber dan impedansi antenna. Nilai S_{11} bernilai yang negatif menggambarkan kerugian daya akibat refleksi yang kecil, seperti ditunjukkan Gambar 2. Jika Z_{IN} adalah impedansi *input* pada *port* 1 dan Z_O adalah impedansi karakteristik saluran transmisi maka koefisien refleksi pada *port* 1 (*port input*) dan

input return loss dalam bentuk S_{11} dapat dinyatakan dengan persamaan (1) dan (2) sebagai berikut [20]:

$$\Gamma_{in} = \frac{Z_{IN} - Z_0}{Z_{IN} + Z_0} \quad (1)$$

$$S_{11}(dB) = 20 \log|\Gamma_{in}| \quad (2)$$



Gambar 2. *Two-Port network* terhubung ke sumber dan beban melalui *input matching network* dan *output matching network* [20]

VSWR menggambarkan perbandingan antara amplitudo maksimum ($|V|_{max}$) dengan amplitudo minimum ($|V|_{min}$) pada gelombang berdiri (*standing wave*). Pada saluran transmisi terdapat dua buah komponen tegangan, berupa tegangan yang dikirimkan (V_{0+}) dan tegangan yang direfleksikan (V_{0-}). Perbandingan antara (V_{0-}) dan (V_{0+}) disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ). Nilai VSWR dapat dihitung menggunakan persamaan (3) dan (4) sebagai berikut [16]:

$$\Gamma = \frac{V_{0-}}{V_{0+}} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (3)$$

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + |\Gamma_{in}|}{1 - |\Gamma_{in}|} \quad (4)$$

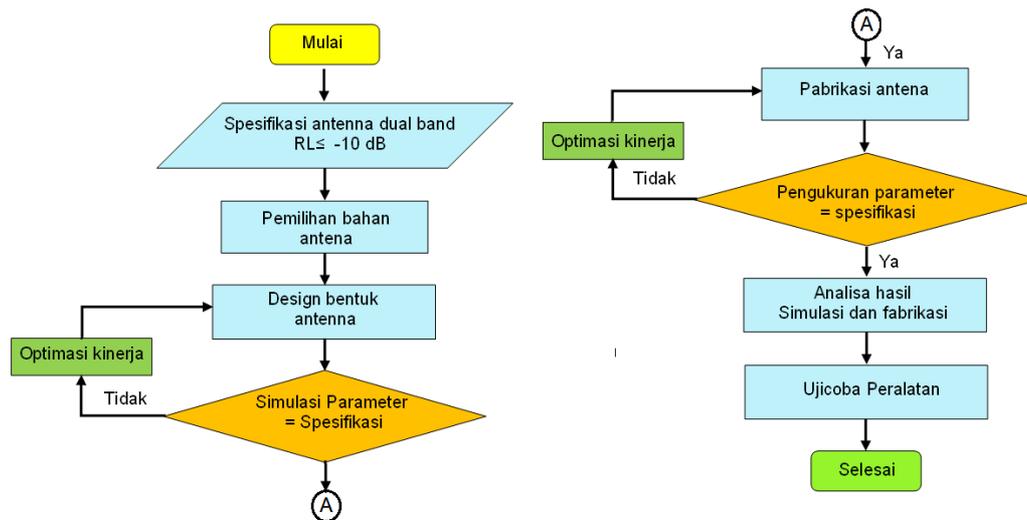
Sedangkan untuk menghitung *matching* resonan antenna terhadap frekuensi kerja dapat dihitung dari panjang gelombang (λ) dan *konstanta* (K) bahan antenna. Seperti terlihat pada persamaan (5), panjang antenna pada dipole $\frac{1}{2}$ λ ($\frac{1}{4}$ λ masing masing element antenna) dapat dihitung sebagai berikut [21]:

$$L = \frac{c}{f} \cdot \frac{1}{4} \cdot K \quad (5)$$

Metode Perancangan

Langkah pertama dalam metode perancangan adalah menentukan spesifikasi antenna yang akan dirancang. Spesifikasi ini disesuaikan dengan diagram alur perancangan *dual band* antenna yang tercantum dalam Gambar 3. Setelah tahap perancangan, evaluasi simulasi dilakukan secara berulang hingga mencapai hasil

yang optimum sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Proses ini melibatkan pengujian dan pengoptimalan desain antenna menggunakan perangkat lunak *CST Studio Suite*. Langkah berikutnya adalah analisis hasil simulasi. Hasil analisis memberikan pemahaman mendalam tentang kinerja antenna di band frekuensi yang dikehendaki termasuk parameter seperti *return loss*, VSWR, polaradiasi dan *gain*. Jika hasil simulasi memenuhi parameter yang ditetapkan maka tahapan berikutnya adalah fabrikasi antenna dan pengukuran parameter. Analisis hasil digunakan untuk memastikan bahwa antenna memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.



Gambar 3. Diagram *Flowchart* perancangan antenna *dual band*

Spesifikasi perancangan *dual band* antenna untuk *receiver VOR/ILS LOC* dan *ILS GP* pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi antenna *dual band*

Spesifikasi	Perangkat Penerima Radio Navigasi Udara	
	VOR/ILS LOC	ILS GP
Rentang Frekuensi	108 -118 MHz	328,6 – 335,4 MHz
Frekuensi Tengah	113 MHz	332 MHz
<i>Return Loss</i> (S_{11})		< -10 dB
VSWR		< 2
Impedansi		$\pm 50 \Omega$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

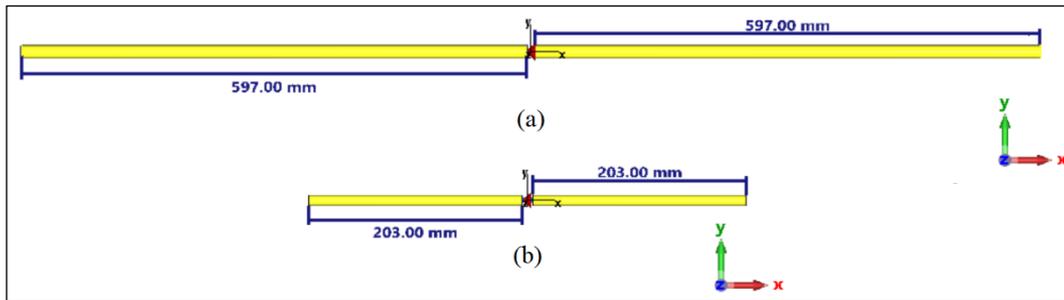
Tahap awal perancangan dilakukan dengan merancang antenna *dipole* dengan *element* dari pipa aluminium berdiameter 5mm, pada *single band* VHF dan *single band* UHF. Panjang *element* antenna L secara matematis dapat ditentukan menggunakan persamaan (5) sebagai berikut: Pada band VHF dengan frekuensi tengah 113 MHz didapatkan panjang *element* antenna

$$L = \frac{300\,000\,000}{113\,000\,000} \times \frac{1}{4} \times 0,90 = 0,597\,m = 597\,mm$$

Sedangkan untuk band UHF dengan frekuensi tengah 332 MHz didapatkan panjang *element* antenna

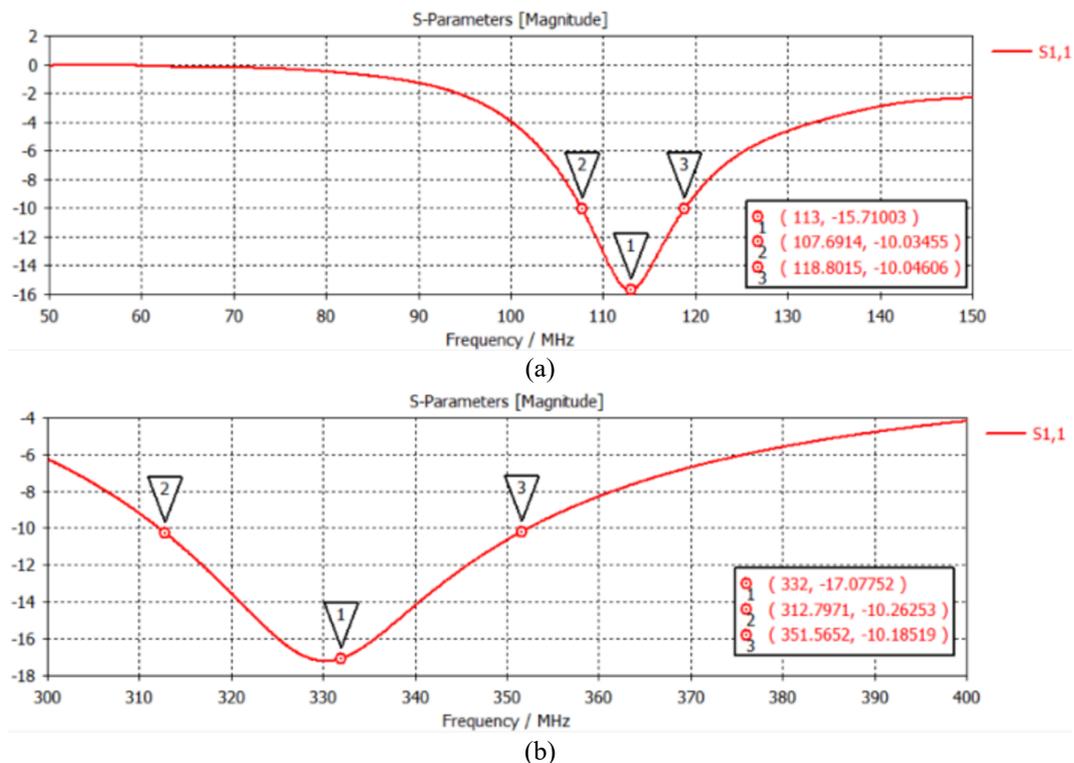
$$L = \frac{300\,000\,000}{332\,000\,000} \times \frac{1}{4} \times 0,90 = 0,203\,m = 203\,mm$$

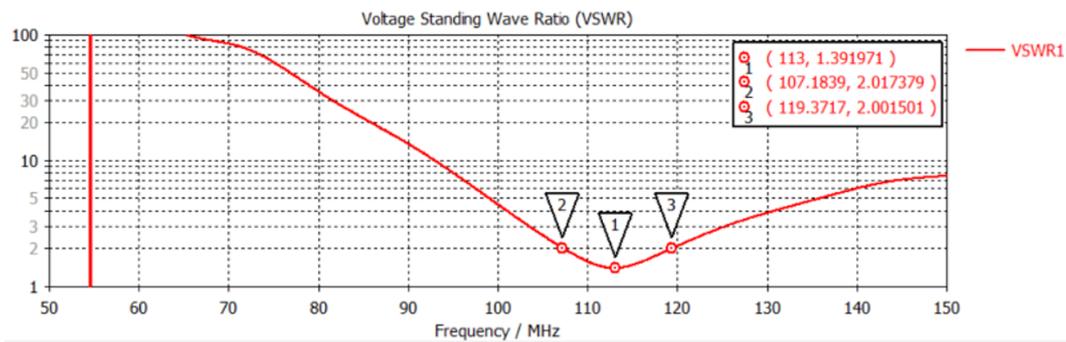
Desain antenna *dipole single band* pada band VHF dan UHF ditunjukkan pada Gambar 4.



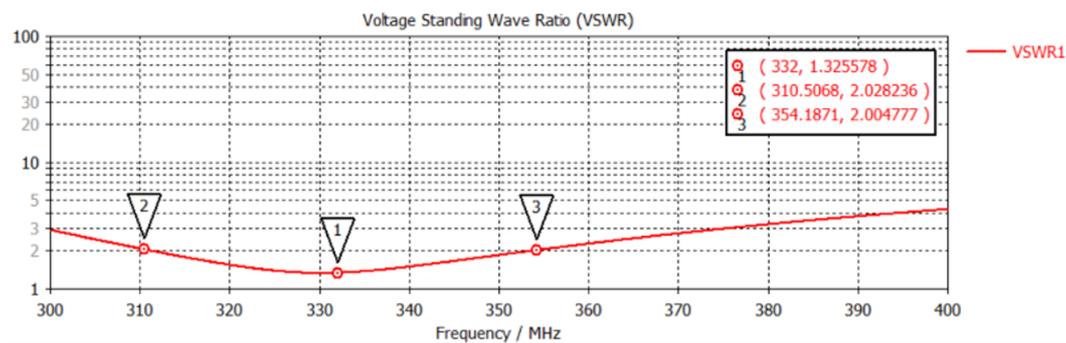
Gambar 4. Desain antenna (a) single band VHF (b) single band UHF

Gambar 5 menunjukkan hasil simulasi *return loss* (S_{11}) antenna *single band* UHF dan VHF. Diperoleh nilai S_{11} sebesar -15,71 dB pada frekuensi 113 MHz dan -17,07 dB pada frekuensi 332 MHz. Hasil simulasi juga diperoleh nilai VSWR pada frekuensi 113 MHz dan 332 MHz berturut turut sebesar 1,39 dan 1,32. Bandwidth pada semua rentang frekuensi juga telah memenuhi persyaratan, yaitu 10,5 MHz pada band VHF dan 39 MHz pada band UHF.





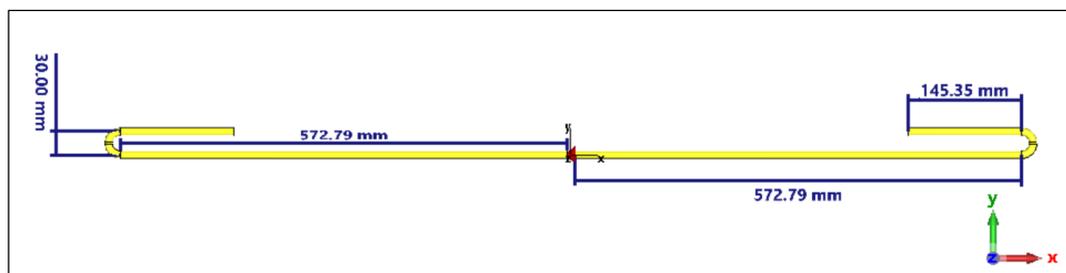
(c)



(d)

Gambar 5. Hasil simulasi antenna *single band*. (a) *return loss* pada 113 MHz, (b) *return loss* pada 332 MHz, (c) VSWR pada 113 MHz dan (d) VSWR pada 332 MHz

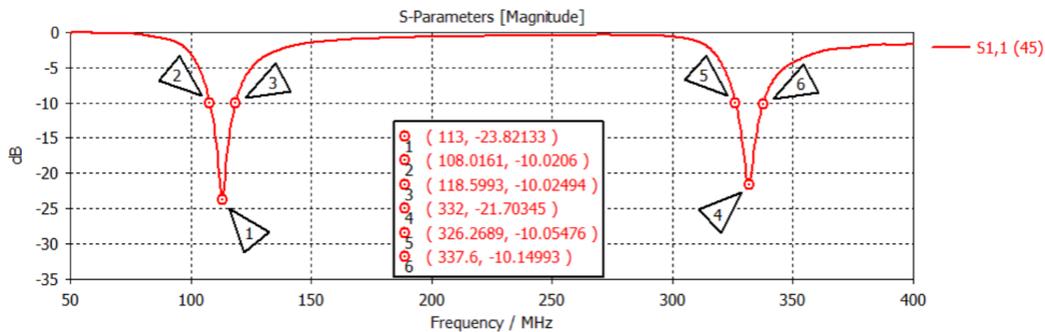
Pada tahapan desain selanjutnya adalah menggabungkan kedua antenna tersebut dalam satu desain antenna dengan model *dipole folded-end*, yaitu pada kedua ujung antenna di tekuk dengan sudut 180° sehingga panjang keseluruhan *element* antenna akan beresonansi pada band VHF, sedangkan band UHF dipengaruhi oleh panjang pada *folded end* nya. Optimasi panjang *element* antenna didapatkan pada jarak 572,79 mm dan panjang *element folded* adalah 145,35 mm. sedangkan jarak diameter antara *element* utama dan *element folded* adalah 30 mm. Desain antenna dual band terlihat seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Desain antenna *dual band* dengan model *dipole folded end*

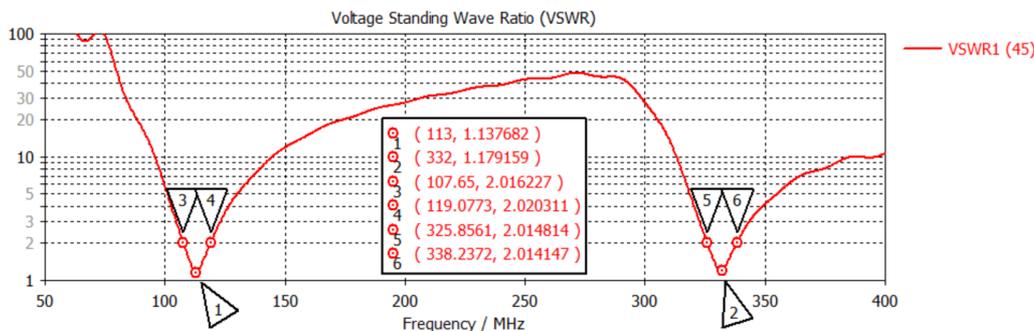
Hasil simulasi parameter antenna *dual band* VHF dan UHF untuk perangkat penerima radio navigasi udara, yaitu pada peralatan *receiver VOR/ILS* yang meliputi aspek *input return loss* (S_{11}), VSWR, pola radiasi dan *gain*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *return loss* pada antenna *dual band* masih memenuhi

persyaratan perancangan yaitu semua rentang frekuensi 108 MHz – 118 MHz dan 328,6 – 335,4 MHz masih di bawah -10 dB, dengan frekuensi tengah band VHF 113,0 MHz pada nilai -23,82 dB dan pada frekuensi tengah band UHF 332,0 MHz sebesar -21,7 dB seperti pada Gambar 7.



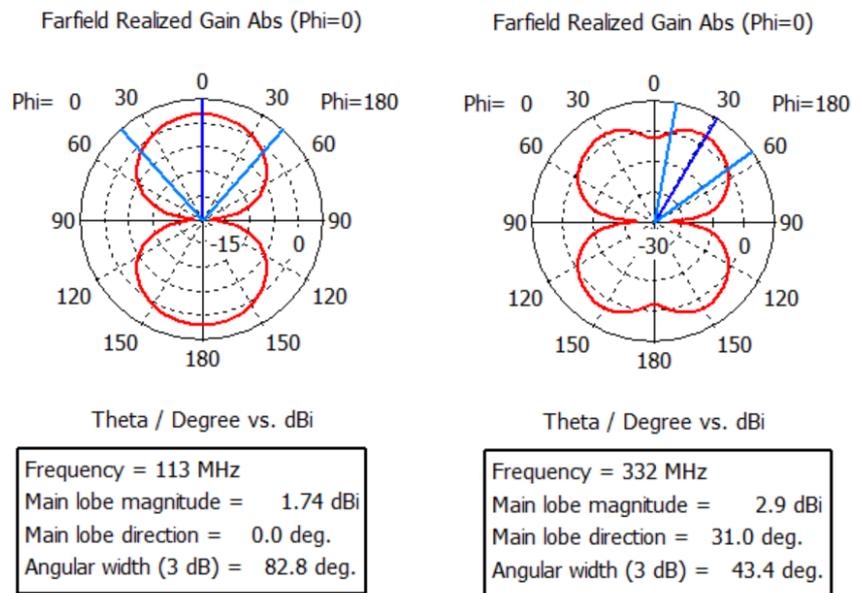
Gambar 7. Hasil simulasi *return loss* (S_{11}) antenna *dual band*

Selain itu, hasil simulasi pada parameter VSWR menunjukkan nilai dibawah nilai 2, seperti ditunjukkan pada Gambar 8. VSWR pada band VHF dengan frekuensi tengah 113 MHz sebesar 1,137 dan pada band UHF dengan frekuensi tengah 332 MHz sebesar 1,179. Bandwidth frekuensi dengan standar pengukuran pada VSWR sama dengan 2, pada band VHF didapatkan nilai sebesar 11,42 MHz yaitu dalam rentang 107,65 MHz sampai dengan 119,07 MHz, sedangkan pada band UHF didapatkan nilai lebar bandwidth sebesar 12,37 MHz dengan rentang frekuensi dari 325,85 MHz – 338,23 MHz. Pada kedua band tersebut masih memenuhi rentang frekuensi yang dipersyaratkan.



Gambar 8. Hasil simulasi VSWR antenna *dual band*

Pola radiasi pada antenna pada frekuensi UHF dan VHF bersifat *bidirectional* seperti tampak pada Gambar 9. Sedangkan *gain* antenna yang dihasilkan pada frekuensi tengah 113 Mhz sebesar 1,74 dBi dengan *mainlobe direction* arah 0° dan untuk frekuensi 332 Mhz sebesar 2,9 dBi dengan *mainlobe direction* arah 31° . Pada simulasi lebar *beamwidth / angular width* dari antenna tersebut pada frekuensi 113 MHz sebesar 82.8° sedangkan pada frekuensi 332 MHz sebesar 43.4° .

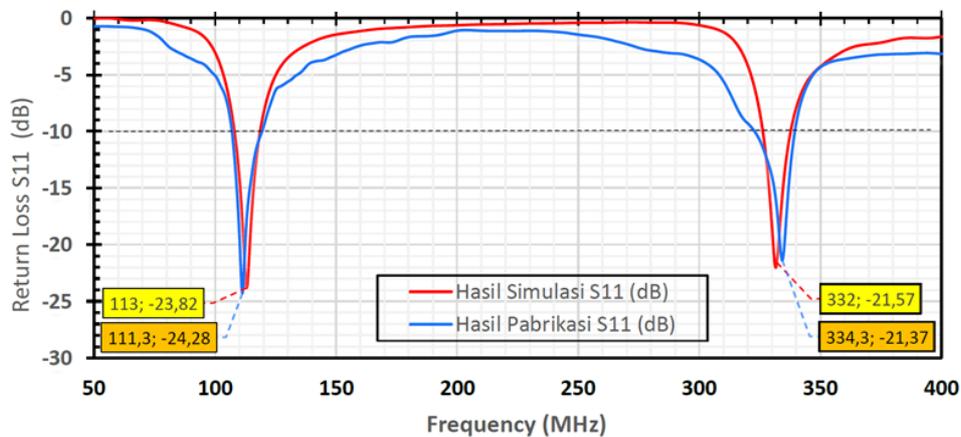


Gambar 9. Hasil simulasi polaradiasi dan gain antenna

Hasil simulasi kemudian di validasi dengan hasil pabrikan antenna *dual band dipole folded end* dengan bentuk antenna seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Fabrikasi antenna *dual band dipole folded end*



Gambar 11. Perbandingan *return loss* hasil simulasi dan pengukuran

Hasil pengukuran menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) menunjukkan nilai *return loss* yang konsisten dengan hasil simulasi seperti ditunjukkan pada Gambar 11. Antena hasil fabrikasi dapat beroperasi pada band VHF dan UHF dengan nilai *return loss* -24,03 dB pada frekuensi 111,46 MHz dan -21,06 dB pada frekuensi 334,31 Mhz.

Model antenna single band pada VHF dan UHF yang biasanya dipasang secara terpisah dapat digantikan dengan satu antenna *dual band*. Penggunaan antenna *dual band* selain dapat menghemat ruang dan biaya, tetapi juga dapat menyederhanakan sistem dan meningkatkan kehandalan operasi. Implementasi antenna *dual band* dalam sistem penerima memungkinkan pengujian lebih cepat dan akurat tanpa perlu mengganti antenna. Hal ini menjadi keuntungan signifikan dalam lingkungan pengujian yang dinamis dan beragam. Sementara itu, perbandingan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan hasil penelitian

Ref	Topologi antenna	Frekuensi	S ₁₁ (dB)	Gain (dBi)	Polaradiasi
[10]	<i>Microstrip</i>	900 MHz	-23,6	8,1	<i>unidirectional</i>
	<i>rectangular patch</i>	1800 MHz	-37,4	9,9	<i>unidirectional</i>
[11]	<i>Loop Dipole</i>	2,4 GHz	< -10	6,5	<i>unidirectional</i>
	<i>composite</i>	5,3 GHz	< -10	6,7	<i>unidirectional</i>
[12]	<i>Microstrip</i>	1 GHz	-32,28	-	<i>omnidirectional</i>
	<i>PIFA structure</i>	2,48 GHz	-14,48	-	<i>omnidirectional</i>
[13]	<i>Microstrip inset</i>	2,35 GHz	-23,23	6,5	<i>omnidirectional</i>
	<i>feed</i>	3,75 GHz	-21,16	6,5	<i>omnidirectional</i>
[14]	<i>Microstrip dipole</i>	-	-	-	-
		332 MHz	-25,425	-	<i>omnidirectional</i>
[15]	<i>Microstrip</i>	-	-	-	-
	<i>meander line</i>	332 MHz	-19,65	1.12	<i>omnidirectional</i>
Penelitian ini	<i>Wire dipole</i>	113 MHz	-23,82	1,74	<i>bidirectional</i>
	<i>folded end</i>	332 MHz	-21,57	2,9	<i>bidirectional</i>

4. KESIMPULAN

Dapat dilakukan perancangan antenna *dual band* dengan model *dipole folded end* menggunakan bahan aluminium diameter 5mm dan panjang masing elemen adalah 572 mm serta panjang elemen folded 145mm. Hasil simulasi *return loss* dan VSWR menunjukkan performansi yang baik dan memenuhi spesifikasi perancangan pada kedua band frekuensi yang telah ditetapkan. Hasil simulasi pada frekuensi tengah 113 MHz dan 332 MHz untuk parameter *return loss* masing masing didapatkan nilai -23,82 dB dan -21,7 dB serta parameter VSWR sebesar 1,137 dan 1,179. Hasil pengukuran menunjukkan nilai *return loss* yang konsisten dengan hasil simulasi dengan nilai *return loss* -24,03 dB pada frekuensi 111,46 MHz dan -21,06 dB pada frekuensi 334,31 MHz. Semua parameter memenuhi kriteria untuk digunakan pada pengujian VOR/ILS LOC pada band VHF dan pengujian ILS GP pada band UHF.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti menyampaikan terimakasih kepada Politeknik Penerbangan Indonesia Curug yang telah memberikan dukungan melalui hibah penelitian dengan Surat Keputusan Direktur PPI Curug No. KP-PPIC 596 Tahun 2023.

REFERENSI

- [1] P. Republik Indonesia, “Undang Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan.” [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/54656/uu-no-1-tahun-2009>
- [2] R. I. Kementerian Perhubungan, “Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor : SKEP/83/VI/2005 Tentang Prosedur Pengujian di Darat (Ground Inspection) Peralatan Fasilitas Elektronika dan Listrik Penerbangan.”
- [3] R. I. Kementerian Perhubungan, “Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor : SKEP/83/VI/2005 Tentang Prosedur Pengujian di Darat (Ground Inspection) Peralatan Fasilitas Elektronika dan Listrik Penerbangan.”
- [4] ICAO, “Annex 10, Aeronautical Telecommunications ,Volume I Radio Navigation Aids,” 2019.
- [5] F. Sabur, A. Bahrawi, and Muh. A. Raharjo, “Analisis Pengaruh Instrument Landing System (ILS) untuk Peningkatan Peningkatan Pelayanan Keselamatan di Bandar Udara Haluoleo Kendari,” *Airman: Jurnal Teknik dan Keselamatan Transportasi*, vol. 3, no. 1, pp. 76–85, 2020, doi: 10.46509/ajtk.v3i1.55.
- [6] A. Irfansyah, A. S. Prabowo, and T. Warsito, “Studi Kelayakan Teknis : ILS Fligh Inspection Menggunakan Pesawat Tanpa Awak,” *Jurnal Penelitian Politeknik Penerbangan Surabaya*, vol. 5, no. 2, pp. 48–57, 2020.
- [7] F. Fatonah, M. Wildan, S. Purnomo, and A. M. Soleh, “Design of High Gain Low Noise Amplifier at Base Station Receiver VOR Equipment for Ground Check Monitoring as Learning Media in Civil Aviation Design of High Gain Low Noise Amplifier at Base Station Receiver VOR Equipment for Ground Check Monitoring as Le,” no. October, pp. 397–402, 2020.
- [8] U. Rafique, H. Khalil, and Saif-Ur-Rehman, “Dual-band microstrip patch antenna array for 5G mobile communications,” in *2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium - Fall (PIERS - FALL)*, 2017, pp. 55–59. doi: 10.1109/PIERS-FALL.2017.8293110.
- [9] S. Zahid, A. Quddious, F. A. Tahir, P. Vryonides, M. Antoniadis, and S. Nikolaou, “Dual-Band Compact Antenna for UHF and ISM Systems,” in *2019 13th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, 2019, pp. 1–5.
- [10] P. Wibowo, R. H. Arjadi, and N. A. Siswandari, “Dual-Band Microstrip Antenna Array Design for Low Power Energy at Frequencies 900 MHz and 1800 MHz,” in *2022 International Conference on Informatics Electrical and Electronics (ICIEE)*, 2022, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICIEE55596.2022.10010031.
- [11] W. J. Lu, G. M. Liu, K. F. Tong, and H. B. Zhu, “Dual-band loop-dipole composite unidirectional antenna for broadband wireless communications,” *IEEE Trans Antennas Propag*, vol. 62, no. 5, pp. 2860–2866, 2014, doi: 10.1109/TAP.2014.2307343.
- [12] Z. Luo, L. Wang, D. Deng, B. Yan, L. Feng, and H. Zheng, “A dual-band microstrip antenna for aviation and mobile application,” in *2016 11th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory (ISAPE)*, 2016, pp. 224–227. doi: 10.1109/ISAPE.2016.7833922.
- [13] S. DK and H. V. Kumaraswamy, “A Dual band Microstrip Patch Antenna for RF Energy Harvesting,” *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 8, no. 06, pp. 31–34, 2019.
- [14] E. Mella, M. Wildan, and B. Suherman, “Rancangan Antena Mikrostrip Dipole pada Perangkat Portable ILS / VOR Receiver Frekuensi 328,6 MHz sampai 335,4 MHz,” *Jurnal Ilmiah Aviasi Langit Biru Vol. 12 No.2 Juni 2019 Hal 1 : 148 Instrument*, vol. 12, no. 2, pp. 133–140, 2019.
- [15] J. Ronaldo Sianipar, M. Wildan, and T. Firmansyah, “Design of Microstrip Meander Line Antenna for Frequency Resonance 332 MHz on Portable ILS/VOR Receiver for Navigation

- Aids,” *Indonesian Journal of Education & Mathematical Science*, vol. 5, no. 1, pp. 12–18, 2024, doi: 10.30596/ijems.v5i1.16180.
- [16] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons. Inc, 2005. doi: 10.1002/0471654507.emc023.
- [17] G. Wibisono and M. Wildan, “Perancangan Concurrent *Dual band* Low Noise Amplifier untuk Monitoring Ground Check pada Radio Navigation Aids,” *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI)*, pp. 6–10, 2014.
- [18] G. Wibisono, M. Wildan, J. Wahyudi, E. Widoro, and T. Firmansyah, “Co-design Structure of Dual-Band LNA and Dual-Band BPF for Radio Navigation Aid Application,” *Wirel Pers Commun*, vol. 116, Feb. 2021, doi: 10.1007/s11277-020-07754-9.
- [19] U. L. Rohde, *Applications Rf/ Microwave Circuit Design for Wireless Applications*, vol. 2. 2000.
- [20] D. M. Pozar, *Microvawe Engineering*, 4th ed. New York: Wiley, 2011.
- [21] H. Ward Silver, Steven R. Ford, and Mark J. Wilson, “ARRL Antenna Book for Radio Communications 24th Edition,” in *The American Radio Relay League (ARRL)*, 24th ed., 2019.