

Analisis Kinerja Antena DVOR di Bandara Kualanamu

Achmad Ridwan¹, Ahmad Arif², Yoga Tri Nugraha³, M.A. Othman⁴

¹ Program Studi Teknik Informatika, Universitas Prima Indonesia, Medan, Indonesia

^{2,3} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Al-Azhar Medan, Medan, Indonesia

⁴ Department of Electronic Engineering, Universiti Teknikal Malaysia Melaka, Melaka, Malaysia

Article Info

Article history:

Received Month xx, 20xx

Revised Month xx, 20xx

Accepted Month xx, 20xx

Keywords:

Antena DVOR

Sudut Datang Pesawat

Sistem Navigasi Udara

Bandara Kualanamu

ABSTRAK

Sistem navigasi udara sangat penting bagi pergerakan pesawat yang aman dan efisien, serta memberikan panduan penting selama berbagai fase penerbangan. Doppler VHF Omnidirect Range (DVOR) adalah perangkat navigasi yang diperlukan dan memiliki kemungkinan tak terbatas untuk mengarahkan pesawat ke bandara. Efek Doppler adalah pendekatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini. Proses pengiriman informasi frekuensi yang dipancarkan DVOR ke pesawat menghasilkan frekuensi yang berbeda-beda akibat adanya efek Doppler yang disebabkan oleh sudut datang pesawat sehingga gelombang yang dihasilkan tidak berbentuk sinusoidal yang terlalu sempurna, namun frekuensi DVOR akan menghasilkan 112299595 Hz, dengan membentuk sistem OBS pada pesawat yaitu 187 derajat yang artinya menunjukkan posisi suatu bandara.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.



Corresponding Author:

Achmad Ridwan,

Program Studi Teknik Informatika, Universitas Prima Indonesia, Jl. Sampul No. 4, Medan, 20118, Indonesia

Email: achmadridwan@unprimdn.ac.id

1. PENDAHULUAN

Sistem navigasi udara sangat penting bagi pergerakan pesawat yang aman dan efisien, serta memberikan panduan penting selama berbagai fase penerbangan. Sistem Doppler VHF Omni-Directional Radio Range (DVOR) adalah komponen penting yang menawarkan informasi azimuth kepada pilot [1]. Memahami hubungan antara kinerja antena DVOR dan sudut kedatangan pesawat sangat penting untuk mengoptimalkan akurasi navigasi, khususnya selama pendekatan dan pendaratan.

Selama pendekatan dan pendaratan, navigasi yang tepat sangat penting. Pilot mengandalkan panduan azimuth yang akurat dari antena DVOR untuk mengikuti jalur penerbangan yang ditentukan. Hubungan antara kinerja antena dan sudut datang secara langsung mempengaruhi ketepatan fase kritis ini.

Sistem DVOR beroperasi berdasarkan Efek Doppler, memanfaatkan antena berputar untuk menghasilkan sinyal variabel [2]. Sudut pendekatan pesawat terhadap stasiun DVOR dapat mempengaruhi pergeseran Doppler dan, selanjutnya, keakuratan informasi navigasi [3]. Variasi kinerja antena DVOR terkait sudut kedatangan dapat menyebabkan penyimpangan navigasi. Memahami potensi penyimpangan ini penting untuk meningkatkan akurasi navigasi secara keseluruhan dan mengurangi risiko situasi di luar jalur.

Sudut kedatangan yang berbeda, terutama di daerah pegunungan atau daerah yang terhalang, dapat mempengaruhi penerimaan dan kualitas sinyal. Analisis ini mempertimbangkan bagaimana kinerja antena DVOR berinteraksi dengan berbagai sudut kedatangan, mengatasi tantangan yang ditimbulkan oleh fitur geografis. Pendekatan instrumen, khususnya yang mengandalkan panduan DVOR, menuntut tingkat presisi yang tinggi. Menyelidiki hubungan antara kinerja antena dan sudut kedatangan memberikan wawasan dalam mengoptimalkan prosedur untuk operasi pendekatan instrumen [4].

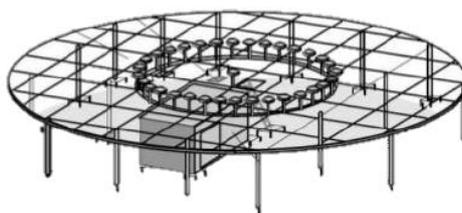
Seiring berkembangnya teknologi navigasi udara, termasuk potensi peningkatan sistem DVOR, memahami hubungan dengan sudut kedatangan menjadi sangat penting. Pengetahuan ini menginformasikan kemajuan teknologi yang bertujuan untuk meningkatkan keandalan dan akurasi sistem.

2. METODE

Doppler VHF Omni-Directional Radio Range (DVOR) adalah sistem navigasi radio berbasis darat yang digunakan dalam penerbangan untuk memberikan panduan azimuth kepada pilot [5]. Ini banyak digunakan untuk navigasi dalam perjalanan, serta selama fase pendekatan dan pendaratan penerbangan. Berikut adalah komponen dan prinsip utama sistem DVOR:

1. Antena Berputar: Inti dari sistem DVOR adalah stasiun bumi dengan antena berputar khusus. Antena ini berputar dengan kecepatan konstan, biasanya 30 putaran per menit.
2. Sinyal Variabel: Antena yang berputar memancarkan dua sinyal: sinyal referensi dan sinyal variabel. Sinyal referensi tetap dalam fase, sedangkan fase sinyal variabel terus berubah seiring rotasi antena.
3. Efek Doppler: Rotasi antena menyebabkan pergeseran Doppler pada sinyal variabel. Efek Doppler menyebabkan perubahan frekuensi akibat gerakan relatif antara antena dan pesawat penerima.
4. Informasi Azimut: Perubahan hubungan fase antara sinyal referensi dan variabel memberikan informasi azimuth (arah) ke pesawat. Dengan mengukur perbedaan fasa, peralatan pesawat dapat menentukan posisi radialnya relatif terhadap stasiun DVOR.
5. Bantalan Magnetik: Sinyal referensi berhubungan dengan utara magnet, dan bantalan magnet sinyal variabel pergeseran Doppler ditentukan oleh perbedaan fasa. Informasi arah magnetik ini membantu pilot dalam menavigasi sepanjang radial tertentu dari atau ke stasiun DVOR.
6. Indikator Navigasi: Pesawat dilengkapi dengan indikator navigasi yang menampilkan informasi DVOR. Indikator ini sering kali dilengkapi dengan jarum berputar atau tampilan digital yang menunjukkan arah magnet ke stasiun.
7. Akurasi dan Presisi: Sistem DVOR dikenal karena akurasi dan presisinya dalam memberikan panduan azimuth. Efek Doppler yang ditimbulkan oleh antena berputar berkontribusi terhadap keandalan sistem.
8. Cakupan: Sistem DVOR biasanya memiliki jangkauan sekitar 200 mil laut. Area cakupan bergantung pada faktor-faktor seperti kekuatan antena dan medan sekitarnya.
9. Integrasi dengan Sistem Lain: DVOR sering kali diintegrasikan ke dalam sistem navigasi udara yang lebih besar, bekerja sama dengan teknologi seperti Instrument Landing Systems (ILS) dan Global Positioning System (GPS) untuk memberikan dukungan navigasi yang komprehensif.
10. Redundansi: Untuk meningkatkan keandalan, banyak instalasi menggabungkan redundansi dalam bentuk beberapa antena atau sistem cadangan lainnya untuk memastikan kelanjutan pengoperasian jika terjadi kegagalan komponen.

DVOR tetap menjadi komponen penting dalam navigasi udara, terutama di area yang memerlukan navigasi presisi [6]. Meskipun teknologi baru seperti GPS semakin banyak digunakan, DVOR terus menjadi bagian penting dari infrastruktur navigasi, menyediakan informasi azimuth yang andal dan akurat untuk mendukung perjalanan udara yang aman dan efisien [7].



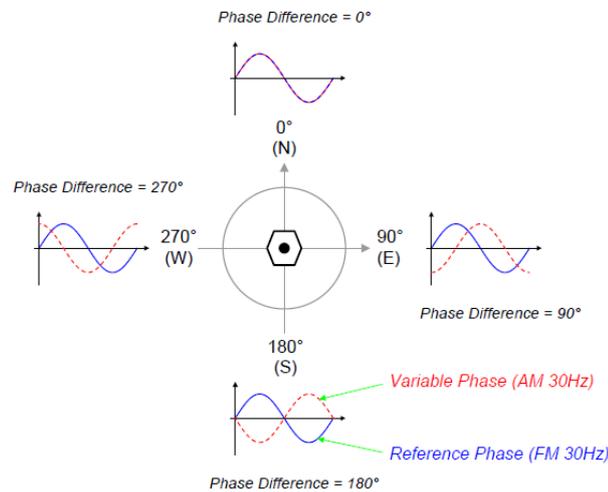
Gambar 1. Konfigurasi 49 antena DVOR

Seperti dapat dilihat pada Gambar 1, DVOR berisi 49 antena. Sejumlah VOR harus dibangun untuk memberikan panduan arah dan azimuth kepada pesawat di sepanjang rute lalu lintas udara karena jangkauan VOR terbatas [8]. Karena keakuratan sinyal VOR dapat terganggu oleh pantulan dari lingkungan sekitar, penentuan lokasi sangatlah penting. DVOR ditambahkan untuk mengurangi kehilangan transmisi yang disebabkan oleh pantulan ini [9]. Dibandingkan dengan VOR Konvensional (CVOR) yang menawarkan performa kurang presisi, DVOR menawarkan performa azimuth yang lebih akurat. Komponen VOR meliputi pemancar VHF, antena, kontrol, dan monitor [10]. Biasanya, VOR dan DME (peralatan pengukuran jarak) bekerja sama dalam gedung atau shelter yang sama untuk menyediakan data berbasis radio mengenai arah/azimuth (DME) dan jarak (VOR) kepada pilot [11]. Setiap stasiun VOR diidentifikasi dengan kode yang dikirimkan melalui kode Morse. Dua komponen sinyal termodulasi yang berbeda, masing-masing pada 30 Hz, membentuk sinyal yang disiarkan VOR. Dengan membandingkan dua sinyal 30 Hz, posisi azimuth pesawat terhadap titik VOR yang dipilih dapat dipastikan [12]. Posisi pesawat akan mempengaruhi perbedaan fasa kedua sinyal. Salah satu dari dua bagian sinyal 30 Hz adalah sinyal "variabel", sedangkan bagian lainnya adalah

sinyal "Referensi". Sinyal Referensi 30 Hz ditransmisikan mengelilingi VOR dengan fase sesaat yang sama ke segala arah (omnidireksional) dan pada semua azimuth dari 0 hingga 360 derajat. Sinyal variabel 30 Hz di wilayah udara yang diciptakan oleh pancaran RF terarah merupakan hasil modulasi berikut diputar dengan fase berbeda pada setiap azimuth [13].

Fase antara sinyal Referensi 30 Hz dan sinyal Variabel 30 Hz dapat disesuaikan agar sejajar satu sama lain dalam arah utara magnet (azimuth = 0). Oleh karena itu, untuk menentukan posisi azimuth yang akurat untuk posisi segala arah dengan mengacu pada VOR, pesawat mengukur perbedaan fasa antara dua sinyal 30 Hz [14]. Masalah penyiaran dan penerimaan kedua sinyal pada frekuensi pembawa yang sama muncul karena Referensi dan Variabel berbagi frekuensi modulasi yang sama yaitu 30 Hz. Masalah ini dapat diatasi dengan menyiarkan salah satu dari tiga puluh sinyal pada subcarrier menggunakan skema modulasi FM 30 Hz, sedangkan tiga puluh sinyal sisanya ditransmisikan pada frekuensi radio pembawa menggunakan teknik modulasi AM 30 Hz [15]. Filter pada penerima pesawat akan memisahkan dua sinyal 30 Hz AM dan 30 Hz FM sebelum memasuki rangkaian detektor fasa dan diproses untuk memberikan informasi arah dan bantalan [16]. Sinyal Referensi 30 Hz dan sinyal Variabel 30 Hz pada sistem VOR adalah sebagai berikut:

1. Pembawa (F_c) yang dimodulasi dengan sinyal AM 30 Hz memancarkan sinyal referensi (30 Hz AM)[9].
2. Sinyal variabel (30 Hz FM) dihasilkan dengan meniru pergerakan dan rotasi sumber sinyal pembawa ($F_c \pm 9960$) di sekitar lingkaran radius 44 kaki (13,4 meter) pada kecepatan 1800 rpm (30 Hz). Lingkaran Poise Counter dikelilingi oleh 48 antena, yang masing-masing dinyalakan secara bergantian oleh saklar elektronik berurutan. Jari-jari dan kecepatan putar berbanding lurus dengan simpangan frekuensi ($F_c \pm 9960$ Hz) yang dihasilkan dari frekuensi yang dipancarkan.

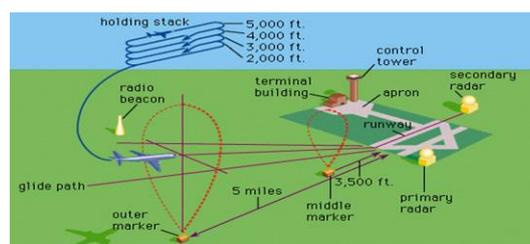


Gambar 2. Korelasi fase antara sinyal referensi dan sinyal variabel

Mengingat Gambar 2, Kombinasi yang dilepaskan ke udara diciptakan oleh hubungan fasa antara sinyal referensi dan sinyal variabel. Karena efek Doppler, ia terdiri dari subcarrier 9960 Hz yang dimodulasi oleh AM dan subcarrier 9960 Hz berikutnya yang dimodulasi oleh 30 Hz FM [17]. Akibatnya, sinyal yang dihasilkan oleh VOR konvensional dan hasil siaran DVOR untuk modifikasi sinyal siaran adalah identik.

2.1 Sistem Navigasi Udara

Sistem navigasi udara adalah jaringan teknologi dan prosedur kompleks yang dirancang untuk membantu pesawat dalam melakukan navigasi melalui wilayah udara dan memastikan perjalanan udara yang aman dan efisien [18]. Sistem ini memberikan pilot informasi yang diperlukan untuk perencanaan rute, panduan selama penerbangan, dan ketepatan selama fase kritis seperti lepas landas dan mendarat [19].

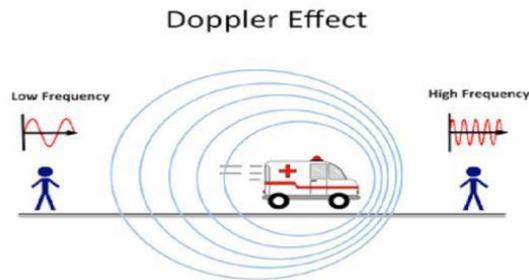


Gambar 3. Sistem Navigasi Udara

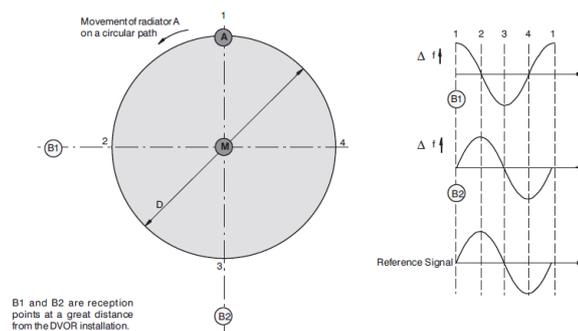
2.2. Efek Doppler

Fenomena yang dikenal dengan Efek Doppler terlihat pada gelombang, seperti gelombang radio, gelombang cahaya, dan gelombang suara. Ini menjelaskan bagaimana frekuensi gelombang atau panjang gelombang berubah sehubungan dengan pengamat yang melakukan perjalanan terhadap sumber gelombang. Fisikawan Austria Christian Doppler, yang pertama kali mendalilkan fenomena ini pada tahun 1842, diberi penghargaan atas nama efek ini [20].

Efek Doppler dapat diamati dalam berbagai konteks, dan penerapannya dalam navigasi radar dan radio, termasuk sistem seperti Doppler VHF Omni-Directional Radio Range (DVOR), sangatlah signifikan.



Gambar 4. Ilustrasi Efek Doppler



Gambar 5. Efek Doppler DVOR

Gambar 5 mengilustrasikan bagaimana efek Doppler mempengaruhi frekuensi. Integrasi komponen-komponen ini ke dalam sistem yang kohesif memungkinkan pergerakan pesawat yang aman dan efisien dalam wilayah udara terkendali. Kemajuan teknologi, seperti transisi ke navigasi dan komunikasi berbasis satelit, terus membentuk evolusi sistem navigasi udara, meningkatkan kemampuan dan keselamatan perjalanan udara secara keseluruhan [12].

Efek Doppler memainkan peran penting dalam pengoperasian Doppler VHF Omni-Directional Radio Range (DVOR), sistem navigasi berbasis darat yang banyak digunakan dalam penerbangan [18]. Sistem DVOR memanfaatkan Efek Doppler untuk memberikan panduan azimuth pada pesawat [21]. Berikut cara Efek Doppler digunakan di DVOR:

1. Antena Berputar: Elemen kunci dari sistem DVOR adalah stasiun berbasis darat dengan antena berputar. Antena berputar dengan kecepatan konstan, biasanya 30 putaran per menit [22].
2. Sinyal Referensi dan Variabel: Antena yang berputar memancarkan dua sinyal: sinyal referensi dan sinyal variabel. Sinyal referensi tetap dalam fase, sedangkan fase sinyal variabel berubah seiring rotasi antena.
3. Pergeseran Doppler: Saat antena berputar, sinyal variabel mengalami pergeseran Doppler karena perubahan gerakan relatif antara antena dan pesawat yang menerima sinyal. Pergeseran Doppler ini merupakan akibat dari perubahan frekuensi yang disebabkan oleh gerak sumber (antena berputar) relatif terhadap pengamat (pesawat).
4. Informasi Azimut: Perubahan hubungan fase antara sinyal referensi dan variabel memberikan informasi azimuth ke pesawat [23]. Perbedaan fasa sesuai dengan posisi radial pesawat relatif terhadap stasiun DVOR.
5. Referensi Bantalan Magnetik: Sinyal referensi tetap sesuai dengan utara magnet. Dengan menentukan perbedaan fasa antara sinyal referensi dan sinyal variabel, peralatan di dalam pesawat dapat menghitung arah magnet dari sinyal variabel, sehingga memberikan informasi arah [24].

6. Navigasi Pilot: Pilot menggunakan informasi azimuth yang disediakan oleh sistem DVOR untuk navigasi, terutama selama fase pendekatan dan pendaratan. Sistem DVOR membantu memandu pesawat sepanjang jalur radial tertentu ke atau dari stasiun.
7. Akurasi dan Presisi: Efek Doppler yang ditimbulkan oleh antena berputar berkontribusi terhadap akurasi dan presisi sistem DVOR. Sistem ini dikenal karena keandalannya dalam memberikan informasi real-time kepada pilot tentang posisi radial mereka relatif terhadap stasiun DVOR.
8. Rotasi Berkelanjutan: Rotasi antena yang terus menerus memastikan pola sinyal yang dinamis dan dapat diprediksi [25]. Rotasi ini, dikombinasikan dengan Efek Doppler, memungkinkan pembaruan informasi azimuth secara terus-menerus saat pesawat bergerak melalui posisi yang berbeda. Rumus berikut dapat digunakan untuk menentukan pergeseran frekuensi pada 49 antena sideband yang disebabkan oleh efek Doppler:

$$F_{observe} = F_{sb} \left(\frac{V - V_0}{V} \right) \times \sin \theta \quad (1)$$

$$F_{total} = F_{dvor} + F_{observe} \quad (2)$$

dimana:

$F_{observasi}$ = frekuensi antena sideband (Hz).

$FSB = fc \pm 9960\text{Hz}$ adalah frekuensi antena sideband.

$\sin \theta$ = Sudut kedatangan pesawat terhadap antena DVOR.

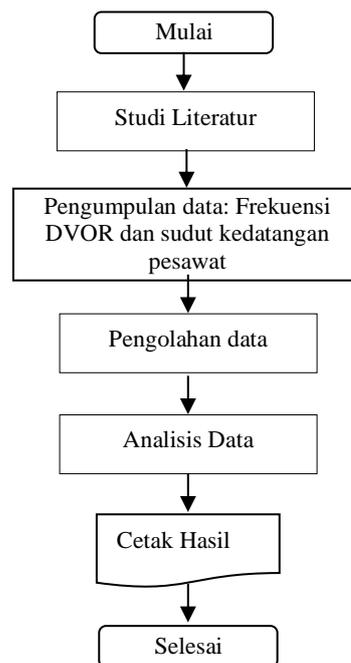
V = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s).

V_0 = kecepatan pesawat (1000 m/s).

$F_{DVOR} = 112,2$ MHz, yang merupakan frekuensi operasi DVOR.

F_{total} = frekuensi pada 49 antena sideband akibat efek doppler.

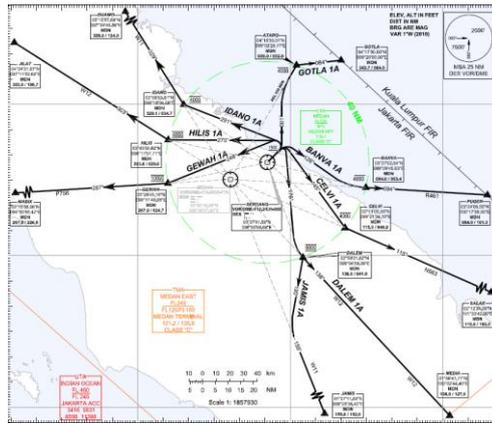
Adapun tahapan jalannya penelitian ini dapat dilihat pada gambar 6.



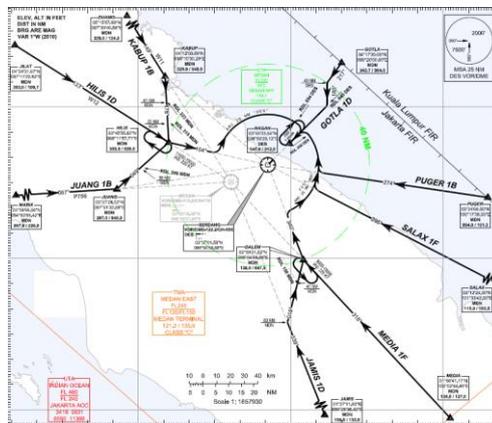
Gambar 6. Flowchart Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sudut datang pesawat akan berpengaruh pada sistem frekuensi DVOR. Hal ini terlihat pada Gambar 7 dimana bidang datang dari berbagai sudut mulai dari 0 derajat hingga 360 derajat.



- (a) Sudut datang pesawat 001, 084, 094, 115, 126, 138, 145, 159, 176, 190, 248, 267, 270, 291, 303, 329 derajat



- (b) Sudut datang pesawat 015, 049, 087, 104, 123, 149, 178, 180, 217, 274, 295, 318, 339, 340 derajat

Gambar 7. Sudut datang pesawat

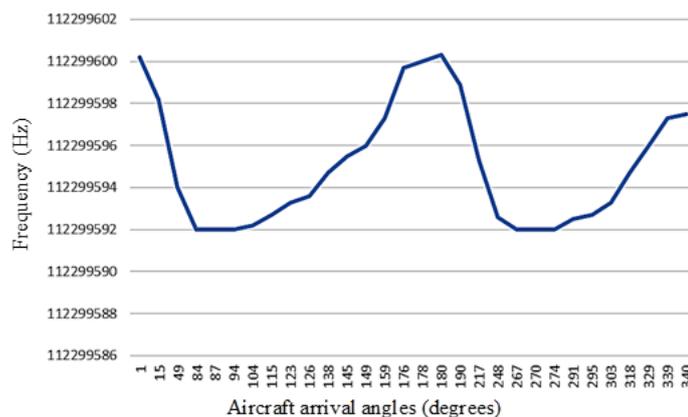
Berdasarkan Gambar 7, sudut arah kedatangan pesawat akan berpengaruh terhadap frekuensi DVOR. Frekuensi DVOR akan menghasilkan 112299595 Hz, dengan membentuk sistem OBS pada pesawat yaitu 187 derajat yang artinya menunjukkan posisi suatu bandara. Hasil ini akan disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis pengaruh perhitungan sudut kedatangan pesawat terhadap frekuensi DVOR

No	Sudut Datang Pesawat (derajat)	Frekuensi (Hz)
1	001	112299600.2
2	015	112299598.2
3	049	112299594
4	084	112299592
5	087	112299592
6	094	112299592
7	104	112299592.2
8	115	112299592.7
9	123	112299593.3
10	126	112299593.6
11	138	112299594.7
12	145	112299595.5
13	149	112299596

14	159	112299597.3
15	176	112299599.7
16	178	112299600
17	180	112299600.3
18	190	112299598.9
19	217	112299595.3
20	248	112299592.6
21	267	112299592
22	270	112299592
23	274	112299592
24	291	112299592.5
25	295	112299592.7
26	303	112299593.3
27	318	112299594.7
28	329	112299596
29	339	112299597.3
30	340	112299597.5
Average	187	112299595

Dari hasil analisis perhitungan pada tabel 1 diatas akan digambarkan grafik yang menunjukkan pengaruh frekuensi DVOR yang dihasilkan terhadap sudut datang pesawat.



Gambar 8. Frekuensi DVOR dihasilkan karena pengaruh sudut arah kedatangan pesawat

Gambar 8 menghasilkan grafik berupa gelombang sinusoidal yang kurang sempurna karena dipengaruhi oleh sudut datang bidang, sehingga frekuensi yang dipancarkan DVOR tidak menghasilkan bentuk gelombang yang sempurna.

4. KESIMPULAN

Proses pengiriman informasi frekuensi yang dipancarkan DVOR ke pesawat menghasilkan frekuensi yang berbeda-beda akibat adanya efek Doppler yang disebabkan oleh sudut datang pesawat sehingga gelombang yang dihasilkan tidak berbentuk sinusoidal yang terlalu sempurna, namun frekuensi DVOR akan menghasilkan 112299595 Hz, dengan membentuk sistem OBS pada pesawat yaitu 187 derajat yang artinya menunjukkan posisi suatu bandara.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini untuk membantu Perum LPPNPI (Airnav Indonesia) Bandara Kualanamu untuk mengetahui kinerja DVOR Kualanamu.

REFERENSI

- [1] L. Fei, H. Yue, and L. Yuankai, "Research on Height and Diameter of Doppler VHF Omnidirectional Beacon in Complex Environment," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 608, no. 1, pp. 1–7, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/608/1/012005.
- [2] Y. T. Nugraha, N. Evalina, M. F. Zambak, S. I. Rezkika, and S. Novalianda, "Analisis Sistem Navigasi Udara Model 432 (Dvor) Untuk Memandu Pesawat Menuju Bandara," *SEMNASSTEK UISU*, vol. 432, pp. 120–126, 2019.
- [3] E. J. Martin, "Automated VOR Ground Check Techniques," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, no. 2, pp. 257–261, 1985.
- [4] R. Corputty, R. N. Kaikatui, and Muriani, "Analysis of the Aircraft Guide Signal Interference in Mopah Airport," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1125, no. 1, p. 012067, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1125/1/012067.
- [5] T. Warsito, M. Rifai, Y. Suprpto, and B. B. H, "Simulasi Azimuth VOR Melalui Posisi Side Band Antenna," *J. Teknol. Penerbangan*, vol. 1, no. 2, 2017.
- [6] P. Marzioli *et al.*, "Testing the VOR (VHF Omnidirectional Range) in the stratosphere: STRATONAV experiment," *3rd IEEE Int. Work. Metrol. Aerospace, Metroaerosp. 2016 - Proc.*, pp. 336–341, 2016, doi: 10.1109/MetroAeroSpace.2016.7573237.
- [7] M. Češkovič, P. Kurdel, N. Gecejová, J. Labun, M. Gamcová, and M. Lehocký, "A Reasonable Alternative System for Searching UAVs in the Local Area," *Sensors*, vol. 22, no. 9, 2022, doi: 10.3390/s22093122.
- [8] W. Ariyanti, "Pemodelan Dan Simulasi Instrumen Pesawat VOR/DME (VHF Omni-Directional Range/Distance Measuring Equipment) Sebagai Peralatan Navigasi Udara (Navaid) Pada Pesawat Terbang," *J. Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. IX, no. 1, pp. 2087–2372, 2019.
- [9] A.-F. Hidayatullah, A. Stefanie, and R. Hidayat, "Analisis Peran Dan Fungsi Dvor (Doppler Very High Frequency Omni – Directional Range) Sebagai Alat Bantu Navigasi Yang Memberikan Informasi Azimuth Ke Pesawat," *JE-UNISLA (Electronic Control, Telecommunication, Comput. Inf. Power Syst.*, vol. 7, no. 1, pp. 5–8, 2022.
- [10] M. Krchnak, J. Labun, P. Kurdel, M. Krchňák, and D. Ing, "Simulator of DVOR Navigation System," *acta-avionica*, no. December, pp. 1–8, 2015, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/292150361>
- [11] A. D. Rachmanto, "Simulator Pesawat Melewati VHF Omnidirectional Radio Range (VOR)," *J. Teknol. Kedirgant.*, vol. 5, no. 1, pp. 36–49, 2016, doi: 10.35894/jtk.v5i1.422.
- [12] T. Schrader *et al.*, "High-resolution signal-in-space measurements of VHF omnidirectional ranges using UAS," *Adv. Radio Sci.*, vol. 17, pp. 1–10, 2019, doi: 10.5194/ars-17-1-2019.
- [13] C. Utomo, "Doppler Very High Frequency Omni-Directional Range (Dvor) Awa Vrb 51D Sebagai Salah Satu Alat Navigasi Udara Di Bandara Ahmad Yani Semarang," 2013.
- [14] A. D. Rachmanto and H. Hernawati, "Perangkat Lunak Simulasi Pesawat Melalui Navaid," *CESS (Journal Comput. Eng. Syst. Sci.*, vol. 6, no. 1, p. 133, 2021, doi: 10.24114/cess.v6i1.22341.
- [15] A. D. Yellu, "A Uniform Geometrical Theory of Diffraction Model of Very-High-Frequency Omni-directional Range Systems for Improved Accuracy," no. August, 2013.
- [16] R. A. Wahab, "Penggunaan Alat dan Perangkat Telekomunikasi dalam Sistem Navigasi dan Komunikasi Aktivitas Perikanan di Pelabuhan Perikanan Bitung," *Bul. Pos dan Telekomun.*, vol. 12, no. 4, p. 279, 2015, doi: 10.17933/bpostel.2014.120404.
- [17] F. A. Kazan, "Microcontroller based simulation of the very high frequency omnidirectional radio range (VOR) system in aircraft," *Int. J. Aeronaut. Astronaut.*, vol. 1, no. December 2020, pp. 33–41, 2020.
- [18] A. Muhamad *et al.*, "Design of High Gain Low Noise Amplifier at Base Station Receiver VOR Equipment for Ground Check Monitoring as Learning Media in Civil Aviation Academy," *Int. J. Progress. Sci. Technol. (IJPSAT)*, vol. 23, no. 1, pp. 397–402, 2020, [Online]. Available: <http://ijpsat.ijsh-journals.org>
- [19] A. S. Prabowo, "Perancangan Sistem Navigasi Terrestrial untuk Pesawat Udara Wing in Surface Effect 8 Penumpang (WISE-8)," *Airman J. Tek. dan Keselam. Transp.*, vol. 2, no. 1, pp. 69–75, 2020, doi: 10.46509/ajtk.v1i2.20.
- [20] A. T. C. Sapta Nugraha, "Analisis Kinerja Sistem Doppler VHF Omnidirectional Range dan Distance Measuring Equipment pada Navigasi Penerbangan," *Sustainable*, vol. 5, no. 02, pp. 6–10, 2016, [Online]. Available: [file:///D:/SEMESTER VII/KERJA PRAKTEK \(KP\)/REFERENSI/367-Article Text-1291-1-10-20180315.pdf](file:///D:/SEMESTER VII/KERJA PRAKTEK (KP)/REFERENSI/367-Article Text-1291-1-10-20180315.pdf)
- [21] E. Wahyudi, W. Pamungkas, and B. Saputra, "Analisis Link Budget Antena Sideband Doppler Very High Omni-Directional Range (DVOR) Pada Jalur Lintasan Penerbangan," *J. INFOTEL - Inform. Telekomun. Elektron.*, vol. 5, no. 1, p. 1, 2013, doi: 10.20895/infotel.v5i2.108.
- [22] G. Greving, W. D. Biermann, and R. Mundt, "Modelling and numerical analysis of rotating antennas and rotating scatterers applied to aeronautical system simulations," *Proc. 6th Eur. Conf. Antennas Propagation, EuCAP 2012*, pp. 812–816, 2012, doi: 10.1109/EuCAP.2012.6206310.
- [23] H. Kimura, H. Tomobe, and H. Morikawa, "Method for estimating azimuthal intensity distribution of microtremors using simple arrays," *Geophys. J. Int.*, vol. 235, no. 1, pp. 518–530, 2023, doi: 10.1093/gji/ggad228.
- [24] A. D. Rachmanto, I. Iswanto, and H. Hernawati, "Simulation and modeling of aircraft movements passing through VOR," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 830, no. 3, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/830/3/032021.
- [25] S. Banville and H. Tang, "Antenna rotation and its effects on kinematic precise point positioning," *23rd Int. Tech. Meet. Satell. Div. Inst. Navig. 2010, ION GNSS 2010*, vol. 3, no. September 2010, pp. 2545–2552, 2010.