

Performa Antena Directional dan Omnidirectional pada Sistem FPV Walksnail Avatar

Panji Peksi Branjangan*^{a)}, Dhendy Zaki Ridwan^{a)},

(Received 18 September 2025 || Revised 26 October 2025 || Published 23 Desember 2025)

Abstract: Visual monitoring in heavy equipment operations was critical for reducing workplace accidents caused by operator blind spots. Conventional static cameras and sensors often failed to provide adequate coverage in dynamic environments, leading to limitations in situational awareness. This study aimed to evaluate the transmission performance of the Walksnail Avatar digital FPV system using directional and omnidirectional antennas for blind spot monitoring applications. An experimental method was employed by configuring a digital FPV transmitter and receiver at a fixed distance of 20 meters with a wooden obstacle placed along the transmission path. The receiver antenna orientation was rotated at 10-degree intervals to measure variations in data rate and latency. Two antenna configurations were tested: a 9.4 dBi directional patch antenna and a standard omnidirectional antenna. The results indicated that the directional patch antenna achieved a maximum data rate of 25 MBps at frontal orientations but experienced significant degradation at lateral angles, with latency increasing up to 100 ms. In contrast, the omnidirectional antenna demonstrated more uniform performance across all directions, maintaining data rates between 19–24 MBps and stable latency below 45 ms. These findings were consistent with antenna radiation theory regarding gain concentration and angular coverage. The study implied that omnidirectional antennas were more suitable for blind spot monitoring in heavy equipment operations due to their consistent coverage and low latency, while directional antennas were better applied for focused line-of-sight monitoring scenarios. The results provided empirical guidance for selecting antenna configurations in digital FPV-based industrial safety systems.

Keywords: digital FPV, Walksnail Avatar, directional antenna, omnidirectional antenna, latency, data rate

1. Pendahuluan

Sistem First-Person View (FPV) telah menjadi komponen penting dalam berbagai aplikasi modern, termasuk monitoring jarak jauh, operasi drone, dan pemantauan real-time pada sistem bergerak seperti alat berat. Dalam sistem FPV, transmisi video real-time dari perangkat bergerak ke stasiun ground memerlukan link nirkabel yang andal dengan latensi rendah dan data rate yang tinggi agar operator dapat membuat keputusan yang cepat dan akurat. Pada frekuensi 5.8 GHz, video FPV umumnya tidak memerlukan lisensi dan menawarkan ukuran antena yang kecil serta bandwidth yang mendukung kualitas visual yang baik, namun tantangan seperti penetrasi sinyal dan interferensi masih menjadi masalah utama [1]. FPV seringkali bergantung pada konfigurasi antena baik pada sisi pemancar maupun penerima untuk menjaga stabilitas koneksi di lingkungan dengan banyak hambatan [2]. Oleh karena itu, pemilihan dan analisis konfigurasi antena yang tepat merupakan aspek krusial untuk meningkatkan kinerja sistem FPV, khususnya terkait cakupan dan latensi transmisi data.

Permasalahan utama yang dihadapi dalam desain sistem antena FPV adalah kompromi antara *directivity* dan cakupan sinyal. Antena *directional* memiliki keuntungan dalam memusatkan energi ke arah tertentu, sehingga dapat meningkatkan jangkauan sinyal dan *gain* [1], namun kehilangan fleksibilitas arah penerimaan sinyal ketika posisi pemancar berubah [3]. Sebaliknya, antena *omnidirectional* menyebarkan energi secara 360°, yang memberikan cakupan luas tetapi umumnya memiliki *gain* yang lebih rendah dan performa jangkauan yang terbatas [4]. Ketidakpastian dalam orientasi antena, terutama pada sistem bergerak seperti drone atau kendaraan berat, menimbulkan tantangan dalam menjaga *quality of service* (QoS) secara konsisten [5]. Selain itu, pola radiasi antena sangat mempengaruhi kelangsungan hubungan *link* dalam lingkungan dengan banyak multipath dan refleksi, yang sering ditemui dalam aplikasi industri nyata.

Kajian literatur menunjukkan bahwa berbagai tipe antena telah

diteliti dalam konteks sistem komunikasi nirkabel dan FPV. Saharat dkk. memaparkan bahwa antena linier atau sirkular polar (linear/circular) pada frekuensi 5.8 GHz menjadi pilihan utama dalam aplikasi FPV, dimana antena omnidirectional dengan polaritas tertentu dapat mengurangi efek rotasi Faraday dan multipath reflection [6]. Penelitian oleh Andre et al. (2021) menunjukkan implementasi antena pada sistem FPV dengan dua antena (directional dan omnidirectional) dalam rangka meningkatkan kontinuitas penerimaan sinyal independen terhadap posisi pemancar [7]. Di luar konteks FPV, studi evaluasi performa antena arah (*directional*) dan non-arah (*omnidirectional*) dalam sistem ZigBee mengindikasikan bahwa meskipun antena arah memiliki *gain* lebih besar, hasil penerimaan daya seringkali menunjukkan kesetaraan pada jarak lebih jauh karena propagasi lingkungan [8]. Konsep ini sejalan dengan prinsip *directivity* antena yang mempengaruhi distribusi energi radiasi [9]. Selain itu, penelitian desain antena biquad untuk sistem FPV menunjukkan bagaimana variasi pola radiasi memengaruhi jarak transmisi pada monitor FPV, dengan antena *directional* mencapai jangkauan lebih jauh sementara omnidirectional menawarkan cakupan penuh bidang [10].

Meskipun berbagai penelitian telah mengeksplorasi desain antena untuk aplikasi nirkabel dan FPV [5] [6], masih terdapat gap yang signifikan dalam pemahaman kuantitatif mengenai perbandingan performa antena *directional* dan *omnidirectional* khusus pada aplikasi FPV digital pada kondisi operasi nyata (termasuk penghalang fisik dan variasi orientasi antena). Banyak studi masih fokus pada desain struktural antena atau simulasi pola radiasi tanpa membandingkan performa kedua konfigurasi tersebut dalam konteks transmisi video real-time [7] dengan metrik lengkap seperti *data rate*, latensi, dan stabilitas link. Selain itu, literatur yang tersedia masih kurang mengaitkan hasil pengukuran empiris dengan teori propagasi radio modern untuk memastikan keandalan operasional dalam aplikasi industri. Kekosongan ini mendorong kebutuhan studi yang secara sistematis mengevaluasi perbedaan kinerja kedua antena dalam konteks FPV digital dengan

penghalang nyata. Untuk menjembatani gap tersebut, penelitian ini memperkenalkan pendekatan empiris yang membandingkan performa antena *directional* dan *omnidirectional* pada sistem FPV digital dalam kondisi nyata yang mencakup hambatan fisik dan variasi orientasi antena. Pendekatan ini tidak hanya mengukur parameter antena klasik seperti *gain* dan *directivity*, tetapi juga mengaitkannya dengan performa *data link* termasuk *latency*, penerimaan paket, dan kualitas gambar pada aplikasi monitoring real-time. Dengan struktur pengujian yang sistematis serta pengukuran kontinu terhadap perubahan orientasi antena, penelitian ini diharapkan dapat memberikan insight desain yang lebih aplikatif untuk sistem komunikasi FPV digital industri. Metodologi ini mencakup pengujian lapangan dengan penyusunan data statistik guna meningkatkan validitas hasil.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menganalisis dan membandingkan performa antena directional dan omnidirectional pada sistem FPV digital, dengan fokus pada karakteristik transmisi video real-time dalam kondisi operasi nyata. Analisis dilakukan dengan pengukuran eksperimen terhadap data rate, latensi, dan stabilitas koneksi pada variasi sudut orientasi antena penerima. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi konfigurasi antena yang optimal dalam konteks aplikasi monitoring alat berat atau sistem bergerak lainnya di lingkungan industri, serta memberikan rekomendasi praktis bagi perancang sistem komunikasi nirkabel tingkat lanjut [1], [2].

2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk mengevaluasi dan membandingkan performa antena directional dan omnidirectional pada sistem FPV digital Walksnail Avatar. Metode dirancang untuk merepresentasikan kondisi lapangan nyata pada area kerja alat berat, dengan tetap menjaga keterulangan dan kontrol parameter pengujian.

2.1 Desain dan Alur Penelitian

Tahapan penelitian meliputi studi literatur, perancangan eksperimen, konfigurasi sistem FPV, pengambilan data, analisis hasil, dan penarikan kesimpulan. Alur kerja penelitian disusun secara sistematis untuk memastikan setiap tahapan mendukung pencapaian tujuan penelitian. Gambar 2.1 menunjukkan diagram alir dari penelitian ini.

2.1.1 Research Initiation (Problem Identification)

Tahap ini menjelaskan identifikasi permasalahan penelitian berdasarkan kebutuhan praktis dan keserjangan ilmiah. Fokus utama adalah keterbatasan sistem FPV digital dalam menjaga stabilitas transmisi video akibat karakteristik antena. Tahap ini menegaskan relevansi penelitian terhadap aplikasi monitoring alat berat dan sistem bergerak.

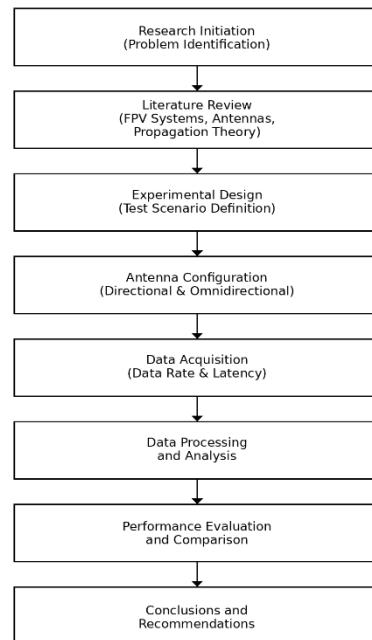
2.1.2 Literature Review

Kajian literatur dilakukan untuk memahami perkembangan terkini terkait sistem FPV digital, teori antena, dan propagasi gelombang elektromagnetik. Literatur yang dikaji mencakup jurnal ilmiah, prosiding, dan standar teknis dalam 10 tahun terakhir. Tahap ini memastikan bahwa metodologi dan variabel yang dipilih memiliki dasar teoritis yang kuat.

2.1.3 Experimental Design

Tahap ini mencakup perancangan skenario eksperimen,

termasuk penentuan jarak pemancar-penerima, variasi sudut antena, serta kondisi lingkungan pengujian. Semua variabel utama ditetapkan pada tahap ini untuk memastikan konsistensi dan replikabilitas eksperimen. Desain eksperimen dibuat untuk merepresentasikan kondisi operasional nyata sistem FPV.



GAMBAR 2.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

2.1.4 Antenna Configuration

Pada tahap ini dilakukan konfigurasi antena penerima menggunakan dua jenis antena, yaitu directional dan omnidirectional. Setiap konfigurasi diuji secara terpisah dengan parameter eksperimen yang sama. Tujuannya adalah memastikan bahwa perbedaan performa yang diamati hanya disebabkan oleh karakteristik antena.

2.1.5 Data Acquisition

Data dikumpulkan melalui pengukuran langsung parameter *data rate* dan *latency* pada setiap variasi sudut orientasi antena. Pengambilan data dilakukan setelah sistem mencapai kondisi stabil. Tahap ini menekankan akuisisi data primer yang objektif dan terukur [5] [6].

2.1.6 Data Processing and Analysis

Data mentah yang diperoleh kemudian diolah dan dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif dan visualisasi grafik. Analisis difokuskan pada pola perubahan performa terhadap sudut orientasi antena. Tahap ini menghubungkan data empiris dengan teori antena dan propagasi gelombang.

2.1.7 Performance Evaluation and Comparison

Tahap evaluasi dilakukan dengan membandingkan performa kedua jenis antena berdasarkan metrik yang diukur. Hasilnya dievaluasi terhadap tujuan penelitian dan temuan penelitian terdahulu. Tahap ini menggantikan simbol "decision" pada flowchart tradisional.

2.1.8 Conclusions and Recommendations

Tahap akhir ini merangkum hasil evaluasi dan menyajikan kesimpulan utama penelitian. Selain itu, diberikan rekomendasi pemilihan antena untuk aplikasi FPV digital berdasarkan hasil eksperimen. Tahap ini menghubungkan hasil teknis dengan implikasi praktis dan peluang penelitian lanjutan.

2.2 Perangkat dan Spesifikasi Sistem

Perangkat utama yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas video transmitter (VTX), video receiver (VRX), antena, sumber daya, dan perangkat tampilan. Spesifikasi ringkas perangkat disajikan pada Tabel 2.1.

TABEL 2.1 PERANGKAT DAN SPESIFIKASI SISTEM

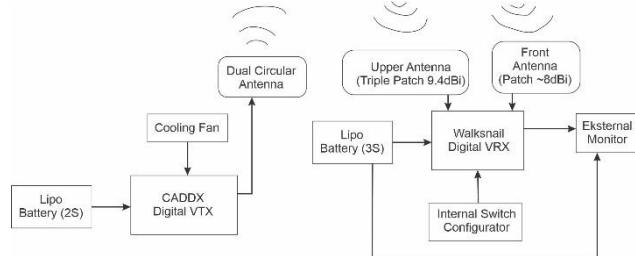
Perangkat / Alat Eksperimen	Spesifikasi
Video Transmitter (VTX):	Walksnail Avatar digital VTX + antena circular
Video Receiver (VRX):	Walksnail Avatar VRX + fitur antenna diversity
Antena Directional:	Patch/triple patch 9.4 dBi
Antena Omnidirectional	Antena omni bawaan VRX
Catu daya:	Baterai LiPo 2S (VTX) dan LiPo 3S (VRX)
Perangkat tampilan:	Monitor eksternal

Pemilihan Walksnail Avatar didasarkan pada kemampuannya menyediakan indikator data rate dan latency secara real-time, yang relevan untuk evaluasi kinerja sistem FPV digital.

2.3 Konfigurasi dan Skenario Pengujian

Eksperimen dilakukan dengan menempatkan VTX dan VRX pada jarak 20 meter, yang dipilih untuk merepresentasikan jarak operasional tipikal pemantauan visual di area kerja alat berat. Antara VTX dan VRX ditempatkan hambatan berupa material kayu setebal 10 mm untuk mensimulasikan kondisi non-line-of-sight parsial yang umum ditemui di lapangan. Blok diagram pada Gambar 2.2 memperlihatkan integrasi komponen yang digunakan dalam eksperimen. Sinyal dikirim dari VTX melalui antena circular menuju antena penerima pada VRX yang terdiri dari patch dan triple patch 9.4 dBi (konfigurasi A) atau dual omni (konfigurasi B). VRX kemudian mengatur pemilihan jalur antena menggunakan internal switch configurator sebelum menyalurkan hasil ke monitor eksternal. Dalam proses ini, parameter yang diamati adalah data rate dengan nilai maksimum 25 MBps pada kondisi ideal serta latency dengan nilai minimum 37 ms. Variasi nilai parameter tersebut diamati dengan memutar VRX setiap 10 derajat dan dengan kondisi adanya hambatan kayu setebal 10 mm, sehingga didapatkan gambaran pola radiasi dari masing-masing konfigurasi antena.

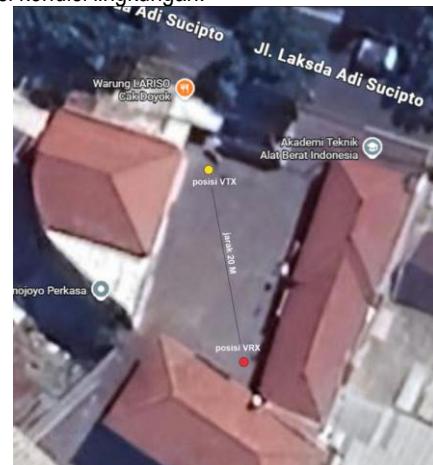
VRX diputar pada interval 10° dari 0° hingga 360° untuk memetakan pola radiasi dan kestabilan transmisi masing-masing konfigurasi antena. Pada setiap sudut, dilakukan pengukuran performa sistem.



GAMBAR 2.2 BLOK DIAGRAM EKSPERIMENTAL KONFIGURASI PATCH ANTENNA

2.4 Tata Letak Lokasi Pengujian

Pengujian dilakukan di area terbuka yang dikelilingi bangunan permanen seperti ditunjukkan di Gambar 2.3, sehingga memungkinkan terjadinya efek pantulan dan multipath. Lokasi VTX dan VRX ditetapkan secara tetap selama pengujian untuk menjaga konsistensi kondisi lingkungan.



GAMBAR 2.3 LOKASI VTX DAN VRX

Untuk koordinat maps pada lokasi VTX dan VRX yaitu di titik google maps Latitude dan Longitude yaitu -7.948678, 112.658517. Tepatnya di Kota Malang, Kampus Akademi Teknik Alat Berat Indonesia.

2.5 Prosedur Pengambilan Data

Untuk setiap konfigurasi antena, prosedur pengambilan data dilakukan sebagai berikut.

1. Sistem FPV dinyalakan dan dibiarkan stabil selama beberapa menit.
2. VRX diposisikan pada sudut awal (0°).
3. Nilai data rate dan latency dicatat setelah kondisi transmisi stabil.
4. VRX diputar sebesar 10°, kemudian langkah pencatatan diulangi.
5. Prosedur dilakukan hingga satu putaran penuh (360°).

Untuk meminimalkan fluktuasi sesaat, setiap pengukuran dilakukan dalam kondisi steady-state, dan nilai yang dicatat merupakan nilai representatif pada sudut tersebut.

2.6 Parameter yang Diamati dan Analisis Data

Parameter utama yang dianalisis dalam penelitian ini adalah:

- Data rate (MBps) sebagai indikator kapasitas transmisi video

- Latency (ms) sebagai indikator keterlambatan tampilan video

Data yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel dan grafik polar untuk memvisualisasikan pola radiasi dan stabilitas sistem. Analisis dilakukan dengan membandingkan tren performa antara antena directional dan omnidirectional, serta mengaitkannya dengan teori propagasi gelombang dan kebutuhan sistem pemantauan blind spot alat berat.

3. Hasil dan Pembahasan

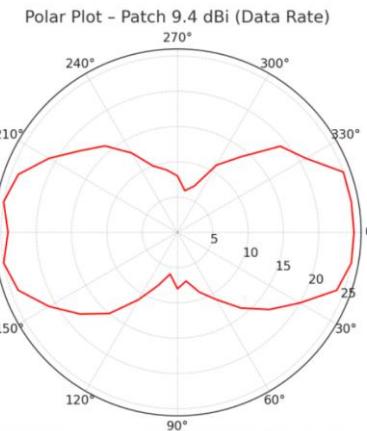
Pada bagian ini disajikan hasil eksperimen pengukuran performa sistem Walksnail Avatar dengan dua jenis antena yang berbeda, yaitu patch directional 9.4 dBi dan omni bawaan VRX. Hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk tabel data rate dan latency, serta grafik pola radiasi untuk setiap konfigurasi antena. Selanjutnya dilakukan pembahasan dengan mengacu pada teori sistem komunikasi FPV, propagasi gelombang elektromagnetik, serta kebutuhan khusus untuk pemantauan blind spot alat berat.

3.1 Hasil Pengukuran Antena Patch Directional 9.4 dBi

Hasil pengukuran performa antena directional patch 9.4 dBi menunjukkan adanya pola radiasi yang sangat terarah, dengan performa terbaik pada arah depan (0°) dan belakang (180°), dengan data dapat dilihat di Tabel 3.2. Pada sudut-sudut tersebut, sistem mempertahankan data rate tinggi dan latency rendah, yang mengindikasikan kondisi link transmisi yang kuat dan stabil. Gambar 3.1 menunjukkan grafik polar datarate antena Triple Patch 9.4dBi.

TABEL 3.2 HASIL PENGUKURAN WALKSNAIL VRX PATCH

Angle (deg)	Data Rate (Mbps)	Latency (ms)
0	25	37
10	25	37
30	20	49
50	14	69
70	9	88
90	8	92
110	8	92
130	15	65
150	21	46
170	25	37
190	25	37
210	21	46
230	16	62
250	10	84
270	8	92
290	7	95
310	14	69
330	21	46
350	25	37



GAMBAR 3.1 GRAFIK POLAR DATARATE ANTENA TRIPLE PATCH 9.4dBi

Namun, pada arah lateral (sekitar 90° dan 270°), terjadi penurunan signifikan pada data rate yang disertai peningkatan latency [14]. Fenomena ini mencerminkan karakteristik dasar antena directional dengan beamwidth sempit, yaitu energi radiasi tidak tersebar merata ke segala arah. Dalam kondisi lingkungan dengan hambatan fisik dan efek multipath, sinyal yang diterima pada arah samping didominasi oleh pantulan, sehingga kualitas link menurun [6], [9].

Dibandingkan dengan laporan penelitian FPV sebelumnya yang umumnya dilakukan pada kondisi line-of-sight ideal, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kinerja antena directional sangat sensitif terhadap perubahan sudut relatif antara pemancar dan penerima. Temuan ini memperkuat pemahaman bahwa penggunaan antena patch pada sistem FPV di lingkungan kerja alat berat perlu mempertimbangkan pola pergerakan drone agar tetap berada dalam lobe utama antena.

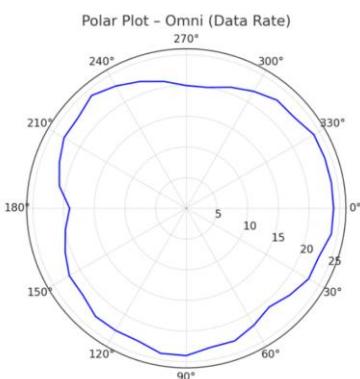
3.2 Hasil Pengukuran Antena Omni Default Walksnail VRX

Pengukuran menggunakan antena omnidirectional bawaan VRX memperlihatkan pola performa yang lebih seragam pada hampir seluruh sudut pengujian [14]. Data rate relatif stabil dan latency berada pada rentang rendah yang konsisten, meskipun nilai puncak tidak setinggi antena patch. Tabel 3.2 menunjukkan data lengkap hasil pengukuran walksnail VRX Omni+Patch antenna. Gambar 3.2 menunjukkan grafik polar datarate antena Omni.

TABEL 3.2 HASIL PENGUKURAN WALKSNAIL VRX OMNI+PATCH ANTENNA

Angle (deg)	Data Rate (Mbps)	Latency (ms)
0	24	40
10	24	39
30	22	39
50	20	37
70	20	40
90	20	37
110	21	37
130	22	37
150	22	38
170	22	40
190	23	38
210	23	38
230	22	37

250	21	37
270	19	40
290	19	38
310	21	38
330	23	38
350	24	38



GAMBAR 3.2 GRAFIK POLAR DATARATE ANTENA OMNI

Stabilitas ini sesuai dengan teori antena omnidirectional yang memiliki pola radiasi mendekati isotropik pada bidang horizontal. Penurunan performa yang terjadi pada sudut tertentu dapat dikaitkan dengan keberadaan hambatan langsung di sekitar VRX, yang menegaskan bahwa meskipun antena omni lebih toleran terhadap perubahan arah, kondisi lingkungan tetap menjadi faktor penentu kualitas transmisi [12].

Dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menekankan kualitas video atau jarak maksimum FPV, penelitian ini menambahkan perspektif baru dengan menunjukkan bahwa latency yang rendah dan stabil lebih krusial untuk aplikasi keselamatan dibandingkan sekadar data rate maksimum.

3.3 Analisis Perbandingan

Perbandingan langsung antara kedua jenis antena menunjukkan adanya trade-off yang jelas antara throughput dan kestabilan sudut cakupan. Antena directional unggul dalam menyediakan data rate tinggi pada arah tertentu, tetapi performanya menurun drastis ketika sudut pengamatan berubah. Sebaliknya, antena omnidirectional menawarkan performa yang lebih konsisten dengan latency rendah di hampir seluruh arah, meskipun dengan throughput rata-rata yang lebih rendah.

TABEL 3.3. RINGKASAN PERBANDINGAN PERFORMA ANTENA DIRECTIONAL DAN OMNIDIRECTIONAL

Aspek Perbandingan	Antena Directional Patch 9.4 dBi	Antena Omnidirectional
Pola radiasi	Terarah (beamwidth sempit)	Menyebar (mendekati isotropik)
Data rate maksimum	Tinggi (hingga 25 MBps)	Sedang (hingga ± 24 MBps)
Stabilitas data rate	Rendah pada sudut samping (90° – 270°)	Tinggi pada hampir seluruh sudut
Latency minimum	Rendah pada arah utama (± 37 ms)	Rendah dan konsisten (± 37 – 40 ms)

Variasi latency	Tinggi pada sudut lateral (hingga ± 100 ms)	Rendah, fluktuasi kecil
Sensitivitas terhadap sudut	Sangat sensitif terhadap perubahan sudut	Relatif tidak sensitif
Ketahanan terhadap hambatan	Rendah pada kondisi NLOS	Lebih toleran terhadap hambatan
Kesesuaian untuk pergerakan drone	Terbatas pada arah tertentu	Fleksibel untuk pergerakan 360°
Aplikasi utama yang disarankan	Pengamatan terfokus (LOS spesifik)	Pemantauan blind spot menyeluruh
Relevansi untuk keselamatan alat berat	Terbatas	Tinggi

Dalam konteks pemantauan blind spot alat berat, temuan ini memiliki implikasi praktis yang signifikan. Sistem pemantauan membutuhkan kontinuitas visual dan respons real-time, sehingga kestabilan latency dan cakupan sudut menjadi faktor utama. Oleh karena itu, antena omnidirectional lebih sesuai untuk pemantauan area kerja yang luas dan dinamis, sedangkan antena directional lebih efektif untuk pengamatan terfokus pada area tertentu dengan jalur pandang yang relatif tetap [13] [7].

Kontribusi ilmiah dari penelitian ini terletak pada penyediaan data empiris yang menghubungkan karakteristik antena FPV dengan kebutuhan operasional keselamatan alat berat, suatu aspek yang belum banyak dibahas dalam studi FPV sebelumnya yang lebih menekankan performa komunikasi secara umum.

3.4 Implikasi untuk Sistem Pemantauan Alat Berat

Dari sisi keselamatan kerja, hasil ini menegaskan bahwa: Omni lebih cocok untuk blind spot monitoring yang membutuhkan coverage 360° . Patch berguna untuk memperkuat sinyal pada area yang membutuhkan detail visual lebih tinggi atau jalur pandang spesifik [11].

Dalam implementasi nyata, sistem Walksnail Avatar dapat mengombinasikan kedua antena melalui mekanisme antenna diversity, di mana VRX menggunakan beberapa antena dengan pola berbeda dan secara dinamis memilih sinyal terbaik. Hal ini akan meningkatkan reliabilitas sistem, mengurangi potensi kehilangan video, dan memperbaiki latency ketika drone bergerak di area kompleks.

4 Kesimpulan

Penelitian ini membahas evaluasi performa antena directional dan omnidirectional pada sistem digital First-Person View (FPV) Walksnail Avatar untuk aplikasi pemantauan visual, khususnya dalam konteks blind spot monitoring pada lingkungan industri dan alat berat. Topik ini penting karena keandalan transmisi video real-time secara langsung memengaruhi keselamatan operasional dan kemampuan operator dalam merespons kondisi berbahaya di area kerja. Dengan meningkatnya pemanfaatan sistem FPV digital, pemilihan konfigurasi antena yang tepat menjadi faktor kunci dalam menjamin kualitas komunikasi nirkabel.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa antena patch directional 9,4 dBi mampu menghasilkan data rate maksimum yang lebih tinggi dibandingkan antena omnidirectional, terutama pada

orientasi line-of-sight langsung, dengan nilai puncak mencapai 25 MBps. Namun, performa antena directional menurun secara signifikan pada sudut lateral, yang ditandai dengan penurunan data rate hingga di bawah 10 MBps serta peningkatan latensi hingga lebih dari 90 ms. Sebaliknya, antena omnidirectional menunjukkan performa yang lebih stabil pada hampir seluruh sudut pengujian, dengan data rate berada pada kisaran 19–24 MBps dan latensi yang relatif rendah serta konsisten, umumnya di bawah 45 ms.

Temuan ini memiliki keterkaitan yang kuat dengan teori dasar antena dan hasil penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa antena directional memiliki gain tinggi dengan sudut cakupan terbatas, sedangkan antena omnidirectional menawarkan cakupan sinyal yang lebih merata dengan kompromi pada peak performance. Dengan demikian, hasil penelitian ini secara umum mendukung temuan penelitian sebelumnya terkait karakteristik dasar kedua jenis antena, sekaligus memperluas pemahaman melalui data empiris pada sistem FPV digital dalam kondisi pengujian nyata dengan hambatan fisik.

Dari sisi aplikasi, penelitian ini menegaskan bahwa antena omnidirectional lebih sesuai untuk kebutuhan pemantauan blind spot yang menuntut cakupan 360° dan latensi yang stabil, sementara antena directional lebih efektif digunakan pada skenario pengamatan terfokus dengan arah tertentu yang memerlukan kualitas visual tinggi. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penyediaan data kuantitatif yang mengaitkan karakteristik antena dengan parameter performa sistem FPV digital yang relevan secara operasional.

Sebagai pengembangan di masa mendatang, penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan memperluas variasi jarak, jenis hambatan, serta lingkungan pengujian yang lebih kompleks, termasuk area industri dengan dominasi material logam. Selain itu, penerapan skema antenna diversity atau adaptive antenna selection pada sisi penerima berpotensi meningkatkan keandalan sistem FPV secara signifikan dan layak untuk dikaji lebih lanjut. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah dan praktis bagi pengembangan sistem pemantauan visual berbasis FPV yang lebih aman dan andal.

5 Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi atas dukungan kebijakan dan pendanaan penelitian, serta kepada Akademi Teknik Alat Berat Indonesia (AKABI) yang telah memberikan fasilitas, bimbingan, dan kesempatan untuk melaksanakan penelitian ini. Apresiasi juga disampaikan kepada seluruh dosen, rekan sejawat, dan mahasiswa yang turut membantu dalam proses eksperimen, pengolahan data, maupun diskusi ilmiah, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

Referensi

- [1] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2016.
- [2] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002.
- [3] K. Gupta and R. K. Jain, "Heavy Equipment Safety Monitoring Systems: A Review," *International Journal of Mining Engineering*, vol. 12, no. 3, pp. 45–53, 2020.
- [4] H. Liu, Z. Wang, and M. Chen, "Blind Spot Accidents in Construction and Mining: Causes and Mitigation Strategies," *Safety Science*, vol. 135, pp. 105–116, 2021.
- [5] J. Park and S. Lee, "Applications of Drone FPV Technology for Industrial Monitoring," *Journal of Field Robotics*, vol. 38, no. 6, pp. 765–779, 2021.
- [6] L. Zhang, Y. Chen, and H. Wang, "Experimental Study on FPV Signal Attenuation in Industrial Environments," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 14322–14330, 2022.
- [7] S. Yamamoto and K. Ito, "Performance of Digital FPV Systems under Multipath and Obstructed Environments," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 2022.
- [8] M. S. Sadiq, A. R. Khan, and M. R. Anjum, "Horizontal Polarized DC-Grounded Omnidirectional Antenna for UAV Ground Control Station," *Sensors*, vol. 21, no. 8, Art. no. 2763, 2021.
- [9] R. Maulana, F. Imansyah, and R. R. Yacoub, "Design and Performance Analysis of 5.8 GHz Cloverleaf and Helix Antenna as First-Person View Video Receiver in Drone Racing," *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology*, vol. 12, no. 2, pp. 406–417, 2024.
- [10] V. R. Kandregula, A. Kumar, and S. Mishra, "A Review of Unmanned Aerial Vehicle-Based Antenna and Propagation Measurements," *Sensors*, vol. 24, no. 22, Art. no. 7395, 2024.
- [11] G. Nugroho and D. Dectaviansyah, "Design, Manufacture, and Performance Analysis of an Automatic Antenna Tracker for an Unmanned Aerial Vehicle (UAV)," *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, 2025.
- [12] Walksnail, *Walksnail Avatar Digital FPV System Specifications*. [Online]. Available: <https://www.walksnail.com/avatar-fpv> (diakses September 2025).
- [13] M. S. Khan, A. D. Capobianco, A. Iftikhar, and B. D. Braaten, "Wideband circularly polarized antennas for wireless systems," *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 62, no. 2, pp. 64–75, Apr. 2020, doi: 10.1109/MAP.2020.2970091.
- [14] IEEE Std 145-2013, *IEEE Standard for Definitions of Terms for Antennas*, IEEE, New York, NY, USA, 2014.
- [15] R. D'Errico and M. Rossi, "UAV communications for 5G and beyond: Recent advances and future trends," *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, no. 6, pp. 5038–5060, Jun. 2020, doi: 10.1109/JIOT.2020.2970813.
- [16] M. Al-Hourani, S. Kandeepan, and A. Jamalipour, "Modeling air-to-ground path loss for low altitude platforms in urban environments," *IEEE Global Commun. Conf. (GLOBECOM)*, 2014, pp. 2898–2904, doi: 10.1109/GLOCOM.2014.7037155.