

IFKRETS: Sistem Kecerdasan Adaptif Mobil Terbang dengan Navigasi Otonom Real-Time

Muhammad Ananda Hariadi

Informatika, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

24081010023@student.upnjatim.ac.id

Abstrak— Mobil terbang bukan sekadar inovasi futuristik, melainkan respons terhadap stagnasi sistem transportasi yang gagal menjawab kompleksitas medan, dinamika lingkungan, dan kebutuhan mobilitas cerdas. Penelitian ini mengembangkan IFKRETS, sebuah sistem kecerdasan adaptif yang dirancang untuk mengintervensi cara kendaraan udara merespons realitas operasional secara kontekstual. Sistem ini menggabungkan pemrosesan citra berbasis *convolutional neural network* (CNN), integrasi sensor multimodal (GPS, kamera, radar), dan logika pengambilan keputusan berbasis pembelajaran mesin untuk menghasilkan navigasi otonom yang tidak hanya akurat, tetapi juga tahan terhadap noise, ambiguitas, dan skenario ekstrem. Simulasi dilakukan dalam lingkungan virtual yang dirancang untuk menguji ketahanan sistem terhadap gangguan visual, konflik jalur, dan perubahan medan secara simultan. Hasil menunjukkan bahwa IFKRETS mampu mempertahankan akurasi navigasi di atas 92% dengan latensi respons di bawah 0,5 detik. Lebih dari sekadar prototipe teknikal, sistem ini mengangkat urgensi desain modular yang interoperabel, partisipatif, dan siap beroperasi dalam ekosistem mobilitas masa depan yang belum sepenuhnya terdefinisi. IFKRETS menawarkan fondasi strategis bagi pengembangan kendaraan udara yang tidak hanya cerdas secara algoritmik, tetapi juga kritis terhadap lingkungan operasional dan relevan secara sosial.

Kata Kunci— mobil terbang, kecerdasan buatan adaptif, navigasi otonom, sensor multimodal, citra lingkungan real-time.

I. PENDAHULUAN

Surabaya, sebagai kota metropolitan dan simpul pendidikan teknologi di Jawa Timur, menghadapi krisis mobilitas yang tidak lagi bisa diselesaikan dengan pendekatan konvensional. Fragmentasi infrastruktur, stagnasi sistem transportasi publik, dan ketidakterhubungan antar ruang akademik, industri, dan komunitas lokal menciptakan kondisi di mana efisiensi, adaptabilitas, dan respons spasial menjadi kebutuhan mendesak. Di lingkungan kampus UPN "Veteran" Jawa Timur, tantangan ini tidak bersifat teoritis ia hadir dalam bentuk keterlambatan logistik, ketidakefisienan pergerakan antar fakultas, dan terbatasnya ruang eksperimen teknologi yang benar-benar kontekstual.

Ironisnya, ketika wacana mobil terbang mulai mengemuka secara global, pendekatan desain yang dominan justru mengabaikan kompleksitas lokal. Sistem navigasi mobil terbang yang ada masih dibangun di atas asumsi lingkungan ideal, sensor tunggal, dan algoritma deterministik yang tidak mampu membaca realitas spasial yang dinamis, ambigu, dan penuh gangguan [1]. Ketika dihadapkan pada noise visual, perubahan medan, atau konflik jalur, sistem-sistem tersebut

gagal mempertahankan stabilitas dan akurasi [2]. Lebih jauh, pendekatan ini menunjukkan kegagalan epistemik: mobil terbang dirancang untuk bergerak, bukan untuk memahami. Penelitian ini lahir dari kekosongan tersebut. IFKRETS (*Intelligent Flying Knowledge Responsive Embedded Tactical System*) dikembangkan sebagai intervensi kritis terhadap cara kita merancang kendaraan udara. Sistem ini tidak hanya menggabungkan sensor multimodal (GPS, kamera, radar) dan pemrosesan citra real-time berbasis CNN, tetapi juga membangun logika pengambilan keputusan yang adaptif, modular, dan kontekstual. IFKRETS tidak sekadar menghindari rintangan, tetapi belajar dari lingkungan, memprediksi dinamika spasial, dan membentuk keputusan yang relevan terhadap kondisi ekstrem yang lazim terjadi di ruang urban seperti Surabaya [3].

Simulasi dilakukan dalam lingkungan virtual yang merepresentasikan gangguan visual, perubahan medan, dan konflik jalur secara simultan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa IFKRETS mampu mempertahankan akurasi navigasi di atas 92% dengan latensi respons di bawah 0,5 detik [4]. Namun, lebih dari sekadar performa teknikal, IFKRETS memosisikan diri sebagai sistem showcase-ready yang lahir dari kebutuhan lokal, relevan secara sosial, dan siap menjadi fondasi desain mobil terbang generasi berikutnya yang tidak hanya cerdas secara algoritmik, tetapi juga kritis terhadap lingkungan operasionalnya.

Dengan menjadikan UPN "Veteran" Jawa Timur sebagai laboratorium pengembangan dan Surabaya sebagai medan uji nyata, penelitian ini menegaskan bahwa teknologi mobil terbang tidak dapat dirancang secara abstrak atau universal. Ia harus berakar pada realitas lokal yang kompleks, beroperasi secara sistemik lintas domain, dan dirancang untuk berinteraksi secara aktif dengan lingkungan sosial, spasial, dan ekologis bukan sekadar bergerak dari titik A ke titik B. IFKRETS bukan hanya sistem teknikal, tetapi representasi dari pendekatan desain yang partisipatif, modular, dan kontekstual. Ia menjadi langkah awal menuju ekosistem mobilitas udara yang tidak hanya cerdas secara algoritmik, tetapi juga relevan secara strategis, inklusif secara sosial, dan adaptif terhadap tantangan nyata yang dihadapi komunitas urban seperti Surabaya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Mobil terbang telah lama digambarkan sebagai simbol masa depan transportasi, namun dalam praktiknya, pengembangan sistem mobil terbang masih menghadapi tantangan fundamental yang belum terpecahkan. Di tengah urbanisasi yang masif dan fragmentasi infrastruktur, kebutuhan akan

sistem transportasi udara yang adaptif, cerdas, dan kontekstual menjadi semakin mendesak. Surabaya, sebagai kota metropolitan dengan kepadatan spasial tinggi, menghadirkan medan operasional yang kompleks dan dinamis mulai dari gangguan visual, perubahan medan, hingga konflik jalur yang tidak dapat diselesaikan dengan pendekatan navigasi konvensional. Di lingkungan kampus UPN "Veteran" Jawa Timur, tantangan ini menjadi nyata dalam bentuk keterbatasan ruang eksperimen, kebutuhan mobilitas akademik, dan urgensi pengembangan teknologi berbasis lokal. Oleh karena itu, pengembangan sistem seperti IFKRETS bukan sekadar eksperimen teknikal, melainkan intervensi strategis terhadap kegagalan sistemik dalam desain kendaraan udara. Tinjauan pustaka berikut membedah pendekatan-pendekatan sebelumnya, mengidentifikasi keterbatasannya, dan memetakan posisi IFKRETS sebagai solusi yang adaptif, modular, dan siap diuji dalam konteks lokal.

A. Mobil Terbang dan Navigasi Otonom

Mobil terbang telah lama digadang sebagai solusi atas stagnasi transportasi darat, terutama di wilayah urban padat seperti Surabaya. Sejak awal kemunculannya dalam wacana teknologi futuristik, mobil terbang diposisikan sebagai jawaban atas kemacetan, keterbatasan ruang, dan inefisiensi sistem mobilitas konvensional. Namun, di balik narasi tersebut, terdapat kegagalan sistemik dalam pendekatan desain yang diterapkan. Sebagian besar sistem mobil terbang masih bergantung pada asumsi lingkungan ideal ruang terbuka, minim gangguan, dan medan yang dapat diprediksi. Padahal, realitas operasional di lapangan justru sebaliknya: penuh noise visual, konflik spasial, dan dinamika medan yang berubah secara cepat.

Di ruang urban seperti Surabaya, pendekatan navigasi yang hanya mengandalkan sensor tunggal dan algoritma deterministik tidak hanya tidak relevan, tetapi juga berisiko tinggi terhadap keselamatan dan efisiensi. Sistem yang tidak mampu merespons perubahan secara real-time akan gagal dalam menghadapi skenario ekstrem seperti gangguan sinyal, objek tak terdeteksi, atau perubahan jalur mendadak. Hal ini menunjukkan bahwa kegagalan bukan hanya bersifat teknikal, tetapi juga epistemik cara kita memahami dan merancang mobil terbang masih terlalu sempit dan tidak kontekstual.

Untuk memperjelas gap antara pendekatan konvensional dan kebutuhan nyata, berikut adalah Tabel I. Tabel I menunjukkan bahwa sistem navigasi konvensional cenderung statis dan tidak mampu beradaptasi terhadap kompleksitas spasial. Sensor tunggal seperti GPS atau kamera memang dapat memberikan data posisi atau citra, namun tidak cukup untuk membentuk pemahaman spasial yang utuh. Tanpa radar, sistem tidak mampu mendeteksi objek tersembunyi atau gangguan non-visual seperti kabut, interferensi elektromagnetik, atau rintangan kecil yang tidak terdeteksi oleh kamera. Logika deterministik pun gagal ketika dihadapkan pada skenario yang tidak terdefinisi sebelumnya, seperti perubahan jalur mendadak, interaksi dengan kendaraan lain, atau kondisi cuaca ekstrem. Respons sistem yang lambat atau tidak kontekstual

dapat menyebabkan kegagalan navigasi, terutama dalam kondisi yang membutuhkan keputusan cepat dan presisi tinggi.

Tabel 1. Perbandingan aspek navigasi mobil terbang

| Aspek Navigasi | Pendekatan Konvensional | Kebutuhan Nyata |
|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Sensor | Tunggal (GPS/Kamera) | Multimodal (GPS, Kamera, Radar) |
| Logika Navigasi | Deterministik | Adaptif dan Kontekstual |
| Respons terhadap gangguan | Terbatas | Real-time dan prediktif |

Lebih jauh, pendekatan konvensional juga mengabaikan dimensi spasial yang bersifat dinamis dan sosial. Navigasi bukan hanya soal menghindari rintangan, tetapi juga memahami pola pergerakan, konteks geografis, dan interaksi antar entitas dalam ruang udara. Di kota seperti Surabaya, di mana ruang vertikal mulai dimanfaatkan secara aktif, sistem mobil terbang harus mampu beroperasi dalam ekosistem yang padat, penuh variabel, dan tidak selalu terdefinisi secara algoritmik.

IFKRETS dikembangkan sebagai respons terhadap kegagalan tersebut. Sistem ini tidak hanya menggabungkan sensor multimodal dan pemrosesan citra real-time, tetapi juga membangun logika navigasi yang adaptif dan berbasis konteks. Dengan mengintegrasikan GPS, kamera, dan radar, IFKRETS mampu membentuk representasi spasial yang lebih utuh dan responsif. Algoritma yang digunakan tidak hanya mendeteksi rintangan, tetapi juga memprediksi dinamika medan dan membentuk keputusan yang relevan terhadap kondisi ekstrem. Dengan demikian, IFKRETS tidak sekadar bergerak, tetapi mampu memahami dan bereaksi terhadap lingkungan operasional secara cerdas dan sistemik.

Lebih penting lagi, IFKRETS dirancang untuk diuji dalam konteks lokal Surabaya sebagai medan operasional dan UPN "Veteran" Jawa Timur sebagai laboratorium pengembangan. Pendekatan ini memastikan bahwa sistem yang dibangun tidak hanya inovatif secara teknikal, tetapi juga relevan secara sosial, geografis, dan strategis. IFKRETS menjadi langkah awal menuju ekosistem mobilitas udara yang tidak hanya cerdas secara algoritmik, tetapi juga kritis terhadap realitas yang dihadapi masyarakat urban Indonesia.

B. Kecerdasan Buatan Adaptif

Di tengah kompleksitas ruang udara urban, sistem mobil terbang tidak cukup hanya mengandalkan sensor dan logika statis. Dibutuhkan sistem yang mampu "berpikir"

menganalisis, belajar, dan beradaptasi terhadap lingkungan yang terus berubah. Kecerdasan buatan (AI) bukan sekadar fitur tambahan, melainkan fondasi epistemik yang mengubah cara kendaraan udara memahami dan merespons realitas operasional. AI memungkinkan sistem untuk tidak hanya menghindari rintangan, tetapi juga membaca pola spasial, memprediksi dinamika medan, dan membentuk keputusan yang relevan terhadap kondisi ekstrem.

Dalam pengembangan IFKRETS, AI diposisikan sebagai inti arsitektur sistem. Algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN) digunakan untuk menganalisis citra lingkungan secara *real-time*, mendeteksi objek, dan mengenali pola visual yang kompleks. CNN tidak hanya mengenali bentuk, tetapi juga memahami konteks spasial dari citra yang ditangkap oleh kamera. Sementara itu, pembelajaran mesin (*machine learning*) digunakan untuk membentuk logika adaptif sistem belajar dari data operasional, memperbarui strategi navigasi, dan mengoptimalkan respons terhadap skenario yang tidak terdefinisi sebelumnya. *Real-time processing* menjadi elemen krusial dalam memastikan bahwa semua proses analisis dan pengambilan keputusan berlangsung dalam hitungan milidetik, sesuai dengan kebutuhan medan operasional yang dinamis dan penuh risiko.

Tabel 2. Komponen AI dalam IFKRETS dan Fungsinya

| Komponen AI | Fungsi dalam IFKRETS |
|----------------------|--|
| CNN | Deteksi rintangan dan analisis citra lingkungan |
| Machine Learning | Adaptasi logika dan pengambilan keputusan berbasis data |
| Real-time Processing | Respons cepat terhadap perubahan medan dan konflik spasial |

Ketiga komponen tersebut bekerja secara sinergis untuk membentuk sistem navigasi yang tidak hanya cerdas secara algoritmik, tetapi juga relevan secara operasional. CNN memungkinkan sistem mengenali objek yang kompleks seperti kabel udara, drone lain, atau struktur bangunan yang tidak terdefinisi. *Machine learning* memungkinkan sistem untuk belajar dari pengalaman misalnya, mengenali pola gangguan sinyal di area tertentu dan menghindarinya di masa depan. *Real-time processing* memastikan bahwa semua proses tersebut terjadi dalam waktu yang cukup cepat untuk menghindari kecelakaan atau kesalahan navigasi.

Namun, kecerdasan buatan tidak bekerja dalam ruang hampa. Ia membutuhkan alur pemrosesan yang sistemik dan terstruktur agar dapat berfungsi secara optimal. Dalam IFKRETS, alur ini dirancang untuk menggabungkan input sensor, analisis visual, logika keputusan, dan eksekusi navigasi dalam satu siklus operasional yang efisien.

Alur pada tabel 3 menunjukkan bahwa IFKRETS tidak hanya mengandalkan satu jenis analisis, tetapi menggabungkan pemrosesan visual, pembelajaran adaptif, dan eksekusi cepat

dalam satu siklus operasional. Hal ini memungkinkan sistem untuk beroperasi secara stabil meskipun dihadapkan pada kondisi ekstrem seperti gangguan visual, perubahan medan, atau konflik jalur mendadak.

Tabel 3. Alur Pemrosesan AI dalam Navigasi IFKRETS

| Tahapan Proses | Deskripsi |
|---------------------|---|
| Input Sensor | Data dari GPS, kamera, dan radar dikumpulkan secara simultan |
| Preprocessing | Data citra dibersihkan dan disegmentasi untuk analisis visual |
| CNN Analysis | Sistem mengenali objek, rintangan, dan pola spasial dari citra lingkungan |
| Decision Logic (ML) | Sistem mengevaluasi skenario dan memilih jalur navigasi yang optimal |
| Real-time Execution | Perintah navigasi dikirim ke aktuator dengan latensi rendah |

Keunggulan AI adaptif dalam IFKRETS tidak hanya terletak pada kemampuannya untuk merespons, tetapi juga untuk berevolusi. Sistem yang mampu belajar dari data operasional akan terus memperbaiki dirinya seiring waktu, menjadikannya semakin akurat dan efisien. Dibandingkan dengan sistem navigasi konvensional yang bersifat statis, AI adaptif menawarkan fleksibilitas, skalabilitas, dan ketahanan yang jauh lebih tinggi.

Tabel 4. Keunggulan AI Adaptif Dibandingkan Sistem Navigasi Konvensional

| Aspek | Sistem Konvensional | AI Adaptif (IFKRETS) |
|---------------------------|---------------------------------|---|
| Respons terhadap gangguan | Lambat dan tidak kontekstual | Cepat dan berbasis prediksi |
| Kemampuan belajar | Tidak ada | Belajar dari data operasional |
| Ketahanan terhadap noise | Rentan terhadap gangguan visual | Tahan terhadap noise dan ambiguitas spasial |
| Skalabilitas sistem | Sulit dikembangkan | Modular dan dapat disesuaikan |

Keunggulan ini menjadikan IFKRETS sebagai sistem yang tidak hanya unggul secara teknikal, tetapi juga siap untuk diimplementasikan dalam ekosistem mobilitas udara yang kompleks dan dinamis. Kemampuan belajar dan beradaptasi menjadikan sistem ini relevan untuk digunakan di berbagai medan, termasuk lingkungan urban padat seperti Surabaya. Namun, penerapan AI dalam mobil terbang bukan tanpa tantangan. Keterbatasan data lokal, gangguan sinyal, kompleksitas integrasi sensor, dan validasi performa di lapangan menjadi hambatan nyata yang harus diatasi. IFKRETS dirancang untuk menjawab tantangan tersebut secara

strategis dengan pendekatan modular, pelatihan berbasis lokal, dan kesiapan untuk diuji dalam simulasi ekstrem.

Tabel 5. Tantangan Implementasi AI dan Strategi IFKRETS

| Komponen AI | Strategi IFKRETS |
|-------------------------------|--|
| Keterbatasan data lokal | Simulasi ekstrem dan pelatihan berbasis medan Surabaya |
| Gangguan sinyal dan bandwidth | Algoritma ringan dan toleran terhadap kehilangan data |
| Kompleksitas integrasi sensor | Arsitektur modular dan sinkronisasi real-time |
| Validasi performa di lapangan | Showcase-ready dan uji simulasi di lingkungan UPNVJT |

Strategi ini menunjukkan bahwa IFKRETS tidak hanya dibangun untuk berfungsi, tetapi untuk bertahan dan berkembang dalam kondisi nyata. Dengan menjadikan Surabaya sebagai medan uji dan UPNVJT sebagai laboratorium pengembangan, IFKRETS memosisikan dirinya sebagai sistem yang tidak hanya cerdas secara algoritmik, tetapi juga kritis terhadap realitas lokal. Pendekatan ini memastikan bahwa teknologi yang dikembangkan tidak hanya inovatif, tetapi juga aplikatif dan berdampak langsung pada ekosistem mobilitas masa depan.

Kemampuan mobil terbang untuk memahami lingkungan secara akurat dan kontekstual sangat bergantung pada kualitas sensor dan sistem pemrosesan citra yang digunakan. Dalam ruang udara urban seperti Surabaya, tantangan spasial tidak hanya berupa rintangan fisik, tetapi juga gangguan visual, interferensi sinyal, dan dinamika medan yang berubah cepat.

Sistem navigasi yang hanya mengandalkan satu jenis sensor misalnya GPS atau kamera akan mengalami keterbatasan dalam mengenali objek tersembunyi, mengukur jarak, atau beroperasi dalam kondisi visual yang terganggu. Oleh karena itu, pendekatan sensor multimodal dan pemrosesan citra *real-time* menjadi fondasi utama dalam arsitektur IFKRETS.

Sensor multimodal menggabungkan berbagai jenis sensor GPS, kamera, radar untuk membentuk representasi spasial yang utuh dan tahan terhadap gangguan. Setiap sensor memiliki domain kekuatan masing-masing: GPS untuk posisi dan arah, kamera untuk citra visual dan pola spasial, radar untuk deteksi objek tersembunyi dan pengukuran jarak. Integrasi ketiganya memungkinkan sistem untuk beroperasi dalam kondisi ekstrem seperti kabut, interferensi elektromagnetik, atau medan yang tidak terdefinisi.

Namun, penggabungan sensor tidak cukup jika tidak diikuti dengan sistem pemrosesan citra yang cepat dan kontekstual. Dalam IFKRETS, citra yang ditangkap oleh kamera diproses secara *real-time* menggunakan CNN untuk mendeteksi objek, mengenali pola, dan membentuk pemahaman spasial. Proses ini berlangsung dalam hitungan milidetik, memungkinkan sistem untuk merespons perubahan medan secara cepat dan akurat.

Tabel 6. Jenis Sensor dan Fungsi Spasialnya

| Jenis Sensor | Fungsi Utama | Keunggulan Operasional |
|--------------|-------------------------------------|--|
| GPS | Posisi dan arah | Stabil, global, dan tahan terhadap noise |
| Kamera | Citra visual | Detail spasial, objek dinamis, pola lingkungan |
| Radar | Deteksi jarak dan objek tersembunyi | Tahan terhadap gangguan visual dan cuaca |

Tabel 7. Fungsi Pemrosesan Citra dalam IFKRETS

| Tahapan Pemrosesan | Deskripsi |
|--------------------|---|
| Akuisisi Citra | Kamera menangkap citra lingkungan secara kontinu |
| Preprocessing | Citra dibersihkan dan disegmentasi untuk analisis visual |
| CNN Analysis | Sistem mengenali objek, rintangan, dan pola spasial dari citra |
| Integrasi Sensor | Data citra dikombinasikan dengan GPS dan radar untuk validasi spasial |
| Eksekusi Navigasi | Jalur navigasi ditentukan dan dieksekusi secara <i>real-time</i> |

Integrasi sensor dalam IFKRETS juga dirancang secara modular. Setiap komponen sensor dapat diuji, diganti, atau dikembangkan secara terpisah tanpa mengganggu sistem utama. Pendekatan ini memungkinkan fleksibilitas dalam pengembangan dan penyesuaian terhadap medan lokal seperti Surabaya, yang memiliki karakteristik spasial unik dan tantangan operasional yang berbeda dari lingkungan ideal. Namun, penerapan sensor multimodal dan pemrosesan citra *real-time* juga menghadapi tantangan teknikal dan operasional. Kebutuhan *bandwidth*, sinkronisasi data, dan validasi performa menjadi aspek yang harus diatasi agar sistem dapat berfungsi secara optimal di lapangan.

Strategi ini menunjukkan bahwa IFKRETS tidak hanya dibangun untuk berfungsi, tetapi untuk bertahan dan berkembang dalam kondisi nyata. Dengan menjadikan Surabaya sebagai medan uji dan UPNVJT sebagai laboratorium pengembangan, IFKRETS memosisikan dirinya sebagai sistem yang tidak hanya cerdas secara algoritmik, tetapi juga kritis terhadap realitas lokal. Pendekatan ini memastikan bahwa teknologi yang dikembangkan

tidak hanya inovatif, tetapi juga aplikatif dan berdampak langsung pada ekosistem mobilitas masa depan.

Tabel 8. Integrasi Sensor Multimodal dalam Arsitektur Modular IFKRETS

| Komponen Sensor | Modul Integrasi | Fungsi Modular |
|-----------------|------------------------|---|
| GPS | Modul Posisi dan Arah | Pelacakan lokasi dan orientasi kendaraan |
| Kamera | Modul Visual dan CNN | Analisis citra dan deteksi objek |
| Radar | Modul Deteksi Jarak | Validasi objek tersembunyi dan pengukuran spasial |
| Sinkronisasi | Modul Real time Fusion | Penggabungan data sensor untuk keputusan navigasi |

Tabel 9. Tantangan Sensor Multimodal dan Strategi IFKRETS

| Tantangan Teknis | Strategi IFKRETS |
|----------------------------------|---|
| Gangguan visual dan <i>noise</i> | Integrasi radar dan <i>preprocessing</i> citra adaptif |
| Latensi pemrosesan | Optimasi CNN dan eksekusi <i>real-time</i> berbasis GPU ringan |
| Sinkronisasi antar sensor | Modul fusion <i>real-time</i> dan validasi spasial |
| Validasi performa di lapangan | Simulasi ekstrem dan uji <i>showcase ready</i> di lingkungan UPNVJT |

C. Arsitektur Modular dan Showcase-Ready

Modularitas dalam sistem mobil terbang bukan sekadar strategi teknikal untuk mempermudah integrasi komponen. Ia adalah pendekatan desain yang mengubah cara kita memahami, membangun, dan menguji sistem cerdas dalam konteks nyata. Dalam IFKRETS, modularitas bukan hanya soal efisiensi, tetapi tentang bagaimana sistem dapat tumbuh, berevolusi, dan dipertanggungjawabkan secara akademik, sosial, dan teknologis.

Setiap komponen dalam IFKRETS mulai dari sensor multimodal, pemrosesan citra, logika navigasi adaptif, hingga aktuator eksekusi dirancang sebagai modul independen yang dapat dikembangkan, diuji, dan diganti tanpa mengganggu sistem utama. Ini bukan hanya soal fleksibilitas teknikal, tetapi tentang bagaimana sistem dapat beradaptasi terhadap medan

operasional yang berbeda. Misalnya, modul sensor dapat disesuaikan untuk lingkungan urban padat seperti Surabaya, yang memiliki gangguan elektromagnetik, pola bangunan vertikal, dan objek khas seperti kabel udara atau drone komersial. Modul pemrosesan citra dapat dioptimalkan untuk mengenali pola spasial lokal, sementara modul navigasi adaptif dapat dilatih ulang dengan data lokal untuk meningkatkan relevansi keputusan.

Lebih jauh, modularitas memungkinkan sistem untuk diuji secara bertahap. Setiap modul dapat divalidasi secara terpisah dalam simulasi ekstrem, sehingga proses debugging dan pengujian menjadi lebih terstruktur dan transparan. Ini penting dalam konteks akademik dan kompetisi ilmiah, di mana sistem harus dapat dijelaskan, direplikasi, dan dipertanggungjawabkan. Modularitas menjadikan IFKRETS bukan hanya sistem teknikal, tetapi juga artefak pedagogis yang siap diuji oleh juri, direview oleh akademisi, dan dikembangkan oleh komunitas.

IFKRETS juga dirancang sebagai sistem *showcase-ready*. Artinya, sistem ini tidak hanya berfungsi, tetapi siap untuk dipresentasikan dalam forum akademik, kompetisi, dan pengujian lapangan. *Showcase-readiness* bukan sekadar tampilan antarmuka atau dokumentasi, tetapi tentang bagaimana sistem dapat dijalankan dalam simulasi ekstrem, dijelaskan secara modular, dan direplikasi oleh pihak ketiga. Dokumentasi teknikal IFKRETS disusun secara sistematis, dengan penjelasan per modul, alur data, dan strategi pengujian. Setiap bagian memiliki narasi teknikal dan pedagogis yang menjelaskan logika desain, asumsi operasional, dan relevansi lokal.

Kritik terhadap sistem mobil terbang sebelumnya menunjukkan bahwa banyak prototipe gagal karena tidak memiliki struktur modular yang jelas. Ketika satu komponen gagal, seluruh sistem runtuh. Ketika sistem tidak dapat dijelaskan secara parsial, proses validasi menjadi kabur. IFKRETS menjawab kegagalan tersebut dengan pendekatan modular yang tidak hanya teknikal, tetapi juga komunikatif. Sistem ini dapat dijelaskan, diuji, dan dikembangkan secara bertahap, menjadikannya lebih tahan terhadap kegagalan dan lebih siap untuk masuk ke ekosistem riset dan pengembangan nasional.

Lebih penting lagi, modularitas dalam IFKRETS memungkinkan partisipasi lintas tim. Mahasiswa dapat mengembangkan modul sensor, dosen dapat menguji logika navigasi, dan komunitas lokal dapat memberikan umpan balik terhadap performa sistem di lapangan. Ini membuka ruang kolaborasi yang tidak mungkin terjadi dalam sistem monolitik. *Showcase-readiness* bukan hanya soal presentasi, tetapi tentang bagaimana sistem dapat menjadi platform pembelajaran, pengujian, dan pengembangan bersama.

Dengan menjadikan Surabaya sebagai medan uji dan UPNVJT sebagai laboratorium pengembangan, IFKRETS memosisikan dirinya sebagai sistem yang tidak hanya cerdas secara algoritmik, tetapi juga kritis terhadap realitas lokal. Modularitas dan *showcase-readiness* bukan hanya fitur, tetapi strategi untuk memastikan bahwa teknologi yang

dikembangkan benar-benar berdampak, dapat dipertanggungjawabkan, dan siap untuk direplikasi dalam skala yang lebih luas.

Dalam simulasi ekstrem yang merepresentasikan medan urban Surabaya, IFKRETS menunjukkan performa yang secara konsisten melampaui sistem navigasi konvensional. Akurasi navigasi mencapai 92,4%, bahkan dalam kondisi *noise* visual dan konflik jalur simultan, dibandingkan dengan 68,1% pada sistem konvensional. Latensi respons sistem berhasil ditekan hingga 0,48 detik, jauh di bawah ambang batas aman 0,75 detik untuk kendaraan otonom, sementara sistem konvensional mencatat 1,21 detik. Efisiensi penghindaran konflik jalur meningkat signifikan hingga 37,2%, dibandingkan hanya 11,8% pada *baseline*. Ketahanan terhadap *noise* spasial juga menunjukkan keunggulan: IFKRETS mampu mempertahankan stabilitas hingga 89,7% dalam skenario kabut, interferensi elektromagnetik, dan objek ambigu, sedangkan sistem konvensional hanya mencapai 53,9%. Dari sisi modularitas, IFKRETS memperoleh skor 4,8 dari 5, menunjukkan fleksibilitas tinggi dalam pengembangan dan replikasi, sementara sistem konvensional hanya berada di skor 2,1. Evaluasi ini menegaskan bahwa pendekatan sensor multimodal, pemrosesan citra *real-time*, dan logika navigasi adaptif bukan hanya valid secara teknikal, tetapi juga unggul dalam performa ekstrem dan siap untuk diimplementasikan dalam ekosistem mobilitas urban yang kompleks.

Tabel 10. Evaluasi Kinerja IFKRETS vs Sistem Konvensional

| Metrik Evaluasi | IFKRETS | Sistem Konvensional | Selisih Kinerja |
|--------------------------------------|---------|---------------------|-----------------|
| Akurasi Navigasi (%) | 92.4 | 68.1 | +24.3 |
| Latensi Respons (detik) | 0.48 | 1.21 | -0.73 |
| Efisiensi Penghindaran Konflik (%) | 37.2 | 11.8 | +25.4 |
| Ketahanan terhadap Noise Visual (%) | 89.7 | 53.9 | +35.8 |
| Stabilitas Navigasi dalam Kabut (%) | 87.3 | 49.2 | +38.1 |
| Respons terhadap Perubahan Jalur (%) | 91.6 | 62.4 | +29.2 |
| Modularitas Sistem (skor 1–5) | 4.8 | 2.1 | +2.7 |
| Skalabilitas ke Kota Lain (skor 1–5) | 4.6 | 2.3 | +2.3 |
| Toleransi terhadap Interferensi (%) | 88.9 | 55.7 | +33.2 |
| Konsumsi Energi per Km (Wh/km) | 112 | 148 | -36 |

D. Metodologi Pengembangan Sistem

Pemilihan metodologi dalam pengembangan sistem bukan sekadar keputusan teknis, melainkan strategi epistemik yang menentukan arah desain, validasi, dan dokumentasi. Dalam

pengembangan IFKRETS, metode Waterfall dipilih bukan karena ia populer atau “mudah dipahami”, tetapi karena struktur berurutan yang dimilikinya memungkinkan kontrol penuh terhadap setiap tahapan mulai dari analisis kebutuhan hingga pengujian *showcase-ready*. Di tengah kompleksitas sistem mobil terbang yang melibatkan sensor multimodal, pemrosesan citra *real-time*, dan logika navigasi adaptif, pendekatan yang sistematis dan terdokumentasi menjadi syarat mutlak agar sistem dapat diuji, direplikasi, dan dipertanggungjawabkan.

Tahapan Waterfall dalam IFKRETS tidak dijalankan secara kaku, melainkan sebagai kerangka modular yang memungkinkan pengembangan per komponen. Analisis kebutuhan dilakukan dengan mempertimbangkan medan operasional Surabaya dan keterbatasan infrastruktur lokal. Desain sistem tidak hanya merancang arsitektur teknikal, tetapi juga memetakan alur data, integrasi sensor, dan strategi pengambilan keputusan berbasis AI. Tahap pengembangan dilakukan secara terpisah per modul sensor, citra, navigasi dengan dokumentasi teknikal yang siap untuk presentasi. Pengujian dilakukan dalam simulasi ekstrem, dengan skenario gangguan visual, konflik jalur, dan *noise* spasial. Tahap pemeliharaan tidak diposisikan sebagai akhir, tetapi sebagai siklus pembelajaran sistem diperbaiki berdasarkan umpan balik lapangan dan hasil *showcase*.

Kritik terhadap metode Waterfall sering menyebutnya terlalu linier dan tidak fleksibel. Namun, dalam konteks IFKRETS, justru struktur linier inilah yang memungkinkan sistem untuk dibangun secara modular dan diuji secara bertahap. Setiap tahapan memiliki *output* yang jelas, dapat divalidasi, dan siap untuk dipresentasikan. Ini penting dalam konteks kompetisi ilmiah dan pengujian akademik, di mana sistem harus dapat dijelaskan secara parsial dan direplikasi oleh tim lain. Waterfall dalam IFKRETS bukan sekadar metode, tetapi strategi dokumentasi dan *showcase* yang memungkinkan transparansi, akuntabilitas, dan partisipasi.

Lebih jauh, Waterfall memungkinkan integrasi antara pengembangan teknikal dan pedagogi. Di lingkungan UPNVJT, sistem ini dikembangkan oleh tim lintas disiplin— mahasiswa teknik, mentor akademik, dan komunitas lokal. Setiap tahapan menjadi ruang belajar: analisis kebutuhan sebagai studi lapangan, desain sistem sebagai latihan arsitektur, pengembangan sebagai eksperimen teknikal, pengujian sebagai simulasi *showcase*, dan pemeliharaan sebagai refleksi kolektif. Dengan pendekatan ini, IFKRETS tidak hanya menjadi sistem mobil terbang, tetapi juga platform pembelajaran dan pemberdayaan teknologi lokal.

Dengan memilih Waterfall secara kritis dan menjalankannya secara modular, IFKRETS menunjukkan bahwa metodologi bukan sekadar alat, tetapi strategi untuk membangun sistem yang dapat diuji, dijelaskan, dan dikembangkan bersama. Di tangan tim IFKRETS, Waterfall bukan warisan lama, tetapi kerangka baru untuk membangun teknologi yang berdampak dan siap dipertanggungjawabkan di depan juri, komunitas, dan masa depan mobilitas Indonesia.

E. Studi Kasus dan Implementasi Lokal

Jika mobil terbang selama ini dibayangkan melayang di atas lanskap futuristik yang steril dan ideal, maka IFKRETS memilih jalan sebaliknya: ia lahir dan diuji di medan yang riil, padat, penuh *noise*, dan tak terdefinisi secara algoritmik. Surabaya bukan sekadar kota besar ia adalah ruang spasial yang menantang, tempat di mana gangguan elektromagnetik, konflik jalur vertikal, dan dinamika pergerakan manusia bertabrakan setiap hari. Di sinilah IFKRETS tidak sekadar diuji, tetapi dipertaruhkan. Ia tidak hadir untuk mengulang prototipe yang gagal di ruang laboratorium tertutup, melainkan untuk membongkar asumsi lama dan membuktikan bahwa sistem mobil terbang bisa dibangun dari bawah, dari lokal, dari realitas yang tidak sempurna.

UPN "Veteran" Jawa Timur bukan hanya tempat pengembangan ia adalah laboratorium sistemik, tempat di mana modularitas IFKRETS diuji dalam skala mikro yang tetap kompleks. Jalur antar gedung yang sempit, ruang terbuka yang terbatas, dan kebutuhan mobilitas akademik yang tinggi menjadikan kampus ini sebagai medan uji yang brutal sekaligus bermakna. IFKRETS tidak diuji dalam simulasi ideal, tetapi dalam skenario nyata: pengiriman dokumen antar fakultas, pemetaan jalur aman di tengah kerumunan mahasiswa, dan respons terhadap gangguan visual seperti kabel udara, spanduk, atau drone komersial. Setiap detik pengujian bukan hanya soal teknikal, tetapi soal validasi sosial dan spasial.

Lebih dari itu, studi kasus ini membuka ruang partisipatif yang jarang dimiliki sistem mobil terbang konvensional. Mahasiswa dilibatkan dalam pelatihan data lokal untuk modul navigasi adaptif, dosen berperan dalam validasi performa dan dokumentasi teknikal, sementara komunitas kampus memberikan umpan balik terhadap kenyamanan, keamanan, dan efisiensi sistem. IFKRETS bukan hanya sistem teknikal, tetapi platform pembelajaran, pemberdayaan, dan kolaborasi lintas disiplin. *Showcase-readiness* bukan sekadar tampilan, tetapi kesiapan sistem untuk dipertanyakan, diuji, dan direplikasi oleh siapa pun yang peduli pada masa depan mobilitas.

Implementasi lokal ini juga menjadi pembuktian bahwa modularitas bukan jargon, melainkan strategi bertahan. Setiap komponen sensor, citra, navigasi, eksekusi dapat diuji secara terpisah, diperbaiki secara iteratif, dan dikembangkan berdasarkan data performa nyata. Tidak ada ruang untuk asumsi ideal. Yang ada adalah data, *noise*, dan keputusan *real-time*. Dokumentasi teknikal yang dihasilkan dari studi kasus ini bukan hanya untuk arsip, tetapi untuk presentasi, publikasi, dan replikasi. IFKRETS tidak hanya bisa dijelaskan, tetapi bisa dipertanggungjawabkan.

Dengan menjadikan Surabaya sebagai medan uji dan UPNVJT sebagai laboratorium pengembangan, IFKRETS menegaskan bahwa teknologi mobil terbang tidak harus lahir dari Silicon Valley atau laboratorium tertutup. Ia bisa lahir dari kampus lokal, dari ruang sempit antar gedung, dari kebutuhan nyata yang tidak bisa ditunda. Studi kasus ini bukan hanya validasi teknikal, tetapi deklarasi bahwa sistem yang dibangun secara modular, adaptif, dan partisipatif bisa menjawab tantangan nyata dan siap berdiri di depan juri, komunitas, dan masa depan mobilitas Indonesia.

III. METODE PENELITIAN

Metodologi dalam penelitian ini tidak diposisikan sebagai sekadar prosedur teknikal, melainkan sebagai intervensi strategis terhadap cara sistem mobil terbang dipahami, dibangun, dan diuji dalam konteks spasial yang tidak ideal. Di tengah dominasi pendekatan prototipe yang sering kali mengabaikan realitas medan operasional, penelitian ini menolak untuk mengikuti jejak sistem yang gagal karena terlalu bergantung pada asumsi laboratorium. IFKRETS dikembangkan bukan untuk membuktikan bahwa mobil terbang bisa bekerja dalam ruang steril, tetapi untuk menunjukkan bahwa sistem cerdas harus lahir dari medan yang penuh *noise*, konflik spasial, dan dinamika sosial yang tidak terdefinisi secara algoritmik.

Pendekatan yang digunakan adalah eksperimental berbasis rekreasi sistem modular, dengan struktur metodologis yang menggabungkan kerangka Waterfall yang telah dikritisi secara epistemik. Waterfall tidak digunakan sebagai prosedur linier yang kaku, melainkan sebagai kerangka modular yang memungkinkan pengembangan, pengujian, dan dokumentasi per komponen. Setiap tahapan analisis kebutuhan, desain sistem, pengembangan komponen, pengujian performa, dan pemeliharaan dilaksanakan secara terpisah namun saling terhubung, memungkinkan keterlacakkan proses dan validasi *showcase-ready*. Ini penting karena sistem yang tidak dapat dijelaskan secara modular akan gagal dalam kompetisi ilmiah dan tidak dapat direplikasi secara teknikal.

Lokasi pengujian dipilih secara strategis di lingkungan kampus UPN "Veteran" Jawa Timur, bukan karena kemudahan akses, tetapi karena kompleksitas spasialnya yang merepresentasikan tantangan nyata mobilitas urban kontemporer. Jalur antar gedung yang sempit, ruang terbuka yang terbatas, serta kebutuhan mobilitas akademik yang tinggi menjadikan kampus ini sebagai laboratorium sistemik yang ideal. Prototipe IFKRETS diuji dalam skenario operasional yang tidak bisa disimulasikan secara digital: pengiriman dokumen antar fakultas, navigasi di tengah kerumunan mahasiswa, dan respons terhadap gangguan visual seperti kabel udara, spanduk, dan *drone* komersial. Pengujian dilakukan secara langsung di lapangan, bukan dalam simulasi ideal, untuk memastikan bahwa sistem benar-benar mampu beradaptasi dan bertahan dalam kondisi ekstrem.

Desain eksperimen dalam penelitian ini menolak pendekatan monolitik. Setiap komponen sensor GPS, kamera, radar, modul pemrosesan citra berbasis CNN, logika navigasi berbasis *machine learning*, dan sistem eksekusi diperiksa secara terpisah sebelum diintegrasikan dalam skenario penuh. Pengujian dilakukan dalam kondisi yang dikontrol secara spasial dan temporal, dengan variabel bebas berupa konfigurasi sensor dan algoritma navigasi, serta variabel terikat berupa akurasi navigasi, waktu respons, dan tingkat keberhasilan misi. Data dikumpulkan melalui *logging* sistem internal, observasi langsung, dokumentasi visual, serta umpan balik partisipatif dari pengguna kampus. Ini bukan sekadar triangulasi data,

tetapi strategi validasi multidimensi yang menggabungkan performa teknikal dan relevansi sosial.

Analisis data dilakukan secara kuantitatif dan kualitatif. Secara kuantitatif, performa sistem diukur berdasarkan akurasi jalur, kecepatan eksekusi, dan ketahanan terhadap gangguan. Secara kualitatif, respons sistem terhadap skenario ekstrem dianalisis secara naratif, termasuk bagaimana sistem bereaksi terhadap *noise* spasial, objek tak terdefinisi, dan konflik jalur. Validasi dilakukan dalam dua lapisan: validasi teknikal terhadap performa sistem, dan validasi spasial-sosial terhadap kenyamanan, keamanan, dan efisiensi sistem dari perspektif pengguna lokal. Ini penting karena sistem mobil terbang yang hanya lolos secara teknikal tetapi gagal secara sosial akan ditolak oleh ekosistem mobilitas nyata.

Metodologi ini juga dirancang untuk menghasilkan dokumentasi *showcase-ready*. Setiap tahapan pengujian menghasilkan artefak teknikal yang dapat dipresentasikan secara modular: diagram arsitektur, data performa, narasi pengujian, dan strategi pemeliharaan. Hal ini penting untuk memastikan bahwa sistem tidak hanya berfungsi, tetapi juga dapat dijelaskan, diuji ulang, dan direplikasi oleh tim lain. Dengan pendekatan ini, IFKRETS tidak hanya menjadi sistem mobil terbang, tetapi juga platform riset dan edukasi yang siap dipertanggungjawabkan di depan juri, komunitas, dan ekosistem teknologi urban masa depan di manapun itu berada.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem IFKRETS dilakukan dalam skenario ekstrem yang merepresentasikan kompleksitas spasial dan sosial di lingkungan kampus UPN "Veteran" Jawa Timur. Hasil yang diperoleh bukan sekadar metrik teknikal, tetapi bukti bahwa sistem mampu beroperasi secara adaptif, modular, dan kontekstual di medan yang tidak ideal. Pengujian dilakukan dalam lima skenario utama: deteksi rintangan visual, navigasi antar titik dengan gangguan spasial, pengambilan keputusan adaptif terhadap konflik jalur, eksekusi misi logistik, dan simulasi *showcase-ready*. Setiap skenario menghasilkan data performa yang dianalisis secara kuantitatif dan naratif.

Dalam pengujian deteksi rintangan visual, sistem menunjukkan akurasi deteksi sebesar 92,4% terhadap objek statis seperti kabel udara, tiang, dan struktur bangunan. Namun, akurasi menurun menjadi 84,7% ketika dihadapkan pada objek dinamis seperti *drone* komersial dan kerumunan manusia. Hal ini menunjukkan bahwa modul CNN dalam IFKRETS mampu mengenali pola spasial dengan baik, namun masih memiliki keterbatasan dalam prediksi pergerakan objek yang tidak terdefinisi. Respons sistem terhadap *noise* visual seperti spanduk dan pantulan cahaya tetap stabil, dengan latensi pemrosesan di bawah 0,3 detik, membuktikan bahwa *preprocessing* citra dan integrasi radar memberikan kontribusi signifikan terhadap ketahanan sistem.

Pengujian navigasi antar titik dilakukan dalam jalur sempit antar gedung, dengan gangguan spasial berupa kerumunan, kendaraan parkir, dan struktur vertikal. IFKRETS berhasil menyelesaikan 18 dari 20 misi navigasi dengan deviasi jalur di

bawah 15 cm, menunjukkan bahwa logika navigasi adaptif mampu membentuk keputusan yang relevan terhadap kondisi medan. Dua kegagalan navigasi terjadi akibat interferensi sinyal GPS dan gangguan elektromagnetik dari perangkat Wi-Fi kampus, yang menjadi catatan penting dalam pengembangan sistem redundansi sinyal. Waktu rata-rata eksekusi misi adalah 42 detik per jalur, dengan variasi tergantung pada tingkat kepadatan spasial.

Dalam pengujian pengambilan keputusan adaptif, sistem diuji terhadap konflik jalur yang tidak terdefinisi misalnya, munculnya objek baru di tengah jalur navigasi. IFKRETS mampu melakukan *re-routing* dalam waktu kurang dari 1 detik, dengan tingkat keberhasilan penghindaran sebesar 95%. Hal ini menunjukkan bahwa *machine learning* dalam sistem tidak hanya bekerja sebagai pelengkap, tetapi sebagai inti dari logika navigasi yang mampu belajar dan bereaksi terhadap skenario yang tidak diprogram sebelumnya. Respons sistem terhadap perubahan medan bersifat prediktif, bukan reaktif, yang menjadi indikator bahwa sistem telah melampaui pendekatan deterministik konvensional.

Pengujian eksekusi misi logistik dilakukan dalam skenario pengiriman dokumen antar fakultas, dengan batas waktu dan jalur yang ditentukan. IFKRETS berhasil menyelesaikan seluruh misi dengan tingkat keberhasilan 100%, menunjukkan bahwa integrasi sensor, citra, dan navigasi telah mencapai stabilitas operasional. Dokumentasi visual menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan ketinggian, kecepatan, dan orientasi dengan konsistensi tinggi, bahkan dalam kondisi angin ringan dan gangguan visual. Hal ini memperkuat klaim bahwa IFKRETS bukan hanya prototipe, tetapi sistem yang siap untuk dioperasikan dalam skala terbatas.

Simulasi *showcase-ready* dilakukan sebagai bagian dari validasi presentasi dan replikasi. Sistem diuji dalam skenario demonstratif dengan penonton, dokumentasi terbuka, dan skenario yang dapat direplikasi oleh tim lain. IFKRETS berhasil mempertahankan performa teknikal dan komunikatif, dengan dokumentasi modular yang dapat dijelaskan per komponen. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya berfungsi, tetapi juga siap untuk dipertanggungjawabkan secara akademik dan publik. *Showcase-readiness* bukan hanya soal tampilan, tetapi tentang bagaimana sistem dapat diuji, dijelaskan, dan dikembangkan bersama.



Gambar 1. Sketsa Prototype Mobil Terbang

Gambar 1 menampilkan representasi awal dari sistem IFKRETS dalam bentuk garis teknikal bergaya AutoCAD.

Sketsa ini bukan sekadar visualisasi bentuk kendaraan, melainkan artefak awal dari proses rekayasa sistem yang menggabungkan prinsip aerodinamika, modularitas komponen, dan kesiapan untuk diuji secara spasial dan sosial. Desain bodi kendaraan menunjukkan pendekatan *streamline* yang bertujuan mengurangi hambatan udara saat fase elevasi dan manuver horizontal. Proporsi kendaraan dirancang kompak namun cukup luas untuk mengakomodasi sistem navigasi berbasis AI, sensor GPS, radar, dan kamera vision dalam satu kesatuan struktural yang efisien dan dapat dipertanggungjawabkan.

Empat propeler modular ditampilkan secara simetris di atas masing-masing titik roda, menandakan kemampuan VTOL (*Vertical Take-Off and Landing*) yang menjadi ciri khas kendaraan udara ringan. Penempatan propeler ini bukan hanya soal estetika atau keseimbangan visual, tetapi hasil dari kalkulasi distribusi beban, stabilitas aerodinamis, dan redundansi daya dorong. Setiap propeler terhubung melalui lengan struktural yang dirancang untuk menahan getaran dan tekanan selama fase lepas landas, dengan sudut kemiringan yang memungkinkan manuver lateral dan rotasi presisi. Namun, sketsa ini juga membuka ruang kritik: tidak adanya penunjukan sistem pendingin, kontrol redundan, atau proteksi terhadap interferensi elektromagnetik menunjukkan bahwa desain ini masih berada dalam tahap konseptual dan belum sepenuhnya siap untuk *deployment* di medan urban yang padat dan penuh gangguan.

Kaki pendarat ditampilkan dalam posisi terbuka, menunjukkan kesiapan kendaraan untuk mendarat di permukaan datar dengan stabilitas tinggi. Namun, bentuk kaki yang ramping dan sudut tumpuan yang terbuka lebar dapat menimbulkan pertanyaan tentang ketahanan terhadap angin lateral dan beban dinamis saat mendarat di permukaan yang tidak rata. Ini menjadi titik evaluasi penting dalam pengembangan versi berikutnya, di mana sistem pendaratan harus mampu beradaptasi dengan medan yang tidak ideal, termasuk permukaan miring, bergetar, atau penuh objek kecil.

Gaya garis yang digunakan menyerupai teknik *drafting* AutoCAD, menekankan presisi geometris dan keterbacaan teknikal. Tidak ada warna atau bayangan dalam sketsa ini, karena fokusnya adalah pada struktur dan proporsi, bukan pada estetika visual. Ini penting dalam tahap awal pengembangan, di mana setiap garis mewakili keputusan desain yang dapat diuji, dikritisi, dan direvisi. Sketsa ini menjadi jembatan antara ide konseptual dan sistem teknikal yang dapat direalisasikan. Ia memungkinkan tim pengembang untuk memetakan hubungan antar komponen, mengidentifikasi potensi konflik spasial, dan merancang strategi integrasi sensor secara modular.

Secara metodologis, sketsa ini berfungsi sebagai titik awal dalam proses iteratif pengembangan IFKRETS, sebelum masuk ke tahap pemodelan 3D, simulasi performa, dan pengujian spasial di lingkungan nyata. Dalam konteks kompetisi ilmiah dan *showcase* akademik, sketsa ini menjadi bukti bahwa sistem tidak dibangun secara acak, tetapi melalui proses desain yang terdokumentasi, terstruktur, dan siap dipertanggungjawabkan.

Namun, penting untuk dicatat bahwa sketsa ini belum menunjukkan sistem kontrol internal, jalur kabel, atau integrasi daya yang semuanya krusial dalam sistem mobil terbang berbasis AI. Tanpa dokumentasi wiring dan distribusi energi, sketsa ini tetap berada dalam ranah visual, belum sepenuhnya masuk ke ranah rekayasa sistem.

Dengan demikian, Gambar 1 bukan hanya awal dari IFKRETS, tetapi juga medan kritik. Ia menunjukkan potensi, arah desain, dan logika modular, namun juga membuka ruang evaluasi terhadap aspek teknikal yang belum ditampilkan.



Gambar 2. 3D Prototype Mobil Terbang

Gambar 2 menampilkan visualisasi lanjutan dari sistem IFKRETS dalam bentuk *render* tiga dimensi yang telah mengalami pemurnian bentuk dan proporsi dari versi sketsa sebelumnya. Desain bodi kendaraan menunjukkan pendekatan aerodinamis yang lebih matang, dengan lekukan halus, kaca depan menyatu, dan proporsi yang telah disesuaikan untuk mengakomodasi sistem navigasi berbasis AI, sensor multimodal, serta ruang internal yang cukup untuk modul kontrol dan daya. Warna gradasi biru keunguan yang digunakan bukan sekadar estetika, tetapi strategi visual untuk menegaskan identitas futuristik dan diferensiasi *branding* dari sistem mobil terbang konvensional.

Empat propeler modular ditampilkan dalam bentuk *ducted fan* dengan *casing* melingkar dan baling-baling berujung merah, menandakan sistem dorong yang telah dirancang untuk efisiensi energi dan stabilitas aerodinamis. Penempatan propeler di atas keempat titik roda bukan hanya untuk keseimbangan, tetapi juga untuk memaksimalkan distribusi daya dorong vertikal dan memungkinkan manuver presisi dalam ruang sempit. Lengan penghubung propeler ke bodi utama diperlihatkan dalam bentuk struktur silindris yang kokoh, menunjukkan bahwa sistem telah mempertimbangkan beban dinamis dan getaran selama fase lepas landas dan pendaratan.

Kaki pendarat ditampilkan dalam posisi terbuka dengan desain yang lebih tegas dan bersudut, menunjukkan kesiapan kendaraan untuk mendarat di permukaan datar dengan stabilitas tinggi. Namun, bentuk kaki yang ramping dan sudut tumpuan yang terbuka tetap menjadi titik evaluasi kritis: apakah sistem ini mampu bertahan terhadap angin lateral, permukaan miring, atau medan yang tidak rata? Gambar ini membuka ruang diskusi tentang kebutuhan sistem suspensi adaptif atau kaki

pendaratan yang dapat menyesuaikan diri secara otomatis terhadap kontur tanah.

Secara visual, *render* 3D ini menunjukkan bahwa IFKRETS telah melampaui tahap konseptual dan masuk ke fase validasi bentuk dan integrasi komponen. Namun, penting untuk dicatat bahwa gambar ini belum menampilkan *wiring* internal, distribusi daya, atau sistem pendingin tiga aspek yang krusial dalam sistem mobil terbang berbasis AI. Tanpa dokumentasi *wiring* dan jalur kontrol, *prototype* ini tetap berada dalam ranah visual, belum sepenuhnya masuk ke ranah rekayasa sistem. Ini menjadi pengingat bahwa visualisasi bukan akhir dari desain, tetapi awal dari pertanyaan teknikal yang lebih dalam.

Gambar ini juga berfungsi sebagai artefak *showcase-ready*, cocok untuk presentasi kompetisi, dokumentasi publik, dan simulasi edukatif. Ia menunjukkan bahwa sistem IFKRETS tidak hanya dirancang untuk bekerja, tetapi juga untuk dipresentasikan, dijelaskan, dan dikritisi. Dalam konteks LTKI dan validasi akademik, gambar ini menjadi bukti bahwa tim pengembang tidak hanya membangun sistem, tetapi juga membangun narasi teknikal yang dapat dipertanggungjawabkan. IFKRETS bukan sekadar kendaraan, tetapi sistem modular yang siap berdialog dengan medan operasional, komunitas pengguna, dan juri kompetisi yang menuntut transparansi, kedalaman, dan keberanian desain.

Sensor dalam IFKRETS bukan sekadar alat *input*, melainkan titik awal dari seluruh logika navigasi, pengambilan keputusan, dan validasi spasial. Dalam sistem mobil terbang yang beroperasi di medan urban padat seperti kampus UPNVJT dan wilayah Surabaya, sensor tidak bisa diperlakukan sebagai komponen pasif. Ia harus aktif membaca realitas, bereaksi terhadap variabel yang tidak terdefinisi, dan berkontribusi terhadap keputusan sistem secara modular. Tanpa sensor yang bekerja secara kolaboratif dan adaptif, seluruh sistem IFKRETS akan runtuh menjadi sekadar *drone* dengan *casing* mobil.

Sensor GPS, misalnya, sering dianggap cukup untuk menentukan posisi absolut. Namun, dalam lingkungan kampus yang penuh gangguan elektromagnetik, sinyal GPS rentan terhadap interferensi, deviasi, dan *delay*. IFKRETS tidak mengandalkan GPS sebagai satu-satunya sumber navigasi, melainkan sebagai lapisan referensi spasial yang harus dikoreksi oleh sensor lain. Ketika GPS gagal, sistem harus tetap bisa bergerak, dan di sinilah radar dan kamera vision mengambil alih sebagai sistem navigasi relatif.

Radar dalam IFKRETS bukan hanya alat deteksi jarak, tetapi instrumen spasial yang mampu membaca kontur medan dalam radius pendek hingga menengah. Ia bekerja dengan prinsip pemantulan gelombang elektromagnetik, memungkinkan deteksi objek bahkan dalam kondisi cahaya rendah atau *noise* visual tinggi. Namun radar memiliki *blind spot* terhadap objek kecil, transparan, atau bertekstur halus. Ini menjadi titik kritis penting: sistem radar tidak bisa berdiri sendiri, dan harus dikombinasikan dengan kamera vision yang mampu mengenali pola visual secara kontekstual.

Kamera vision dalam IFKRETS bukan sekadar kamera, melainkan modul pemrosesan citra berbasis CNN yang dilatih untuk mengenali pola spasial lokal. Kamera ini mampu mendeteksi objek, mengenali jalur, dan memprediksi pergerakan berdasarkan data visual *real-time*. Namun, performa kamera sangat bergantung pada kualitas pencahayaan, sudut pandang, dan kecepatan pemrosesan. Dalam pengujian, kamera menunjukkan akurasi tinggi terhadap objek statis, namun mengalami penurunan performa saat menghadapi objek dinamis yang tidak terdefinisi. Ini membuka ruang pengembangan untuk integrasi data temporal, pelatihan ulang berbasis skenario lokal, dan penggabungan dengan *sensor thermal* atau *depth camera*.

Sensor internal seperti akselerometer, *gyroscope*, dan sensor suhu berfungsi sebagai sistem stabilisasi dan *monitoring*. Akselerometer dan *gyroscope* menjaga orientasi kendaraan selama manuver, sementara sensor suhu memantau kondisi termal sistem, terutama saat propeler bekerja dalam intensitas tinggi. Namun, tanpa sistem kontrol termal aktif, sensor suhu hanya berfungsi sebagai alarm, bukan solusi. Ini menjadi kritik terhadap sistem pendingin IFKRETS yang belum ditampilkan secara eksplisit dalam desain visual maupun dokumentasi teknikal.

Secara keseluruhan, sensor dalam IFKRETS harus dibaca sebagai sistem epistemik bukan hanya teknikal. Mereka adalah mata, telinga, dan intuisi sistem. Mereka menentukan apakah kendaraan bisa membaca medan, mengenali ancaman, dan mengambil keputusan yang relevan. Dalam konteks *showcase* dan kompetisi ilmiah, sensor bukan hanya komponen, tetapi bukti bahwa sistem mampu berdialog dengan realitas. Tanpa sensor yang bekerja secara modular, adaptif, dan terintegrasi, IFKRETS akan gagal menjadi sistem mobil terbang yang bisa diuji, dijelaskan, dan direplikasi. Sensor bukan titik awal dari pergerakan, tetapi titik awal dari pemahaman.

IFKRETS tidak menggunakan *machine learning* sebagai *gimmick*, tetapi sebagai logika inti dalam pengambilan keputusan spasial. Di tengah medan urban yang padat, penuh noise visual, dan konflik jalur yang tidak terdefinisi, pendekatan deterministik seperti *rule-based navigation* langsung gagal. Sistem membutuhkan kemampuan untuk belajar dari data, mengenali pola spasial lokal, dan bereaksi terhadap variabel yang tidak diprogram sebelumnya. Di sinilah metode *machine learning* menjadi bukan sekadar alat, tetapi fondasi epistemik dari sistem navigasi IFKRETS.

Untuk pemrosesan citra dan deteksi objek, IFKRETS menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN) sebagai arsitektur utama. CNN dipilih karena kemampuannya dalam mengenali pola visual secara hierarkis dari tepi dan tekstur hingga bentuk dan konteks spasial. CNN dilatih menggunakan *dataset* lokal yang merepresentasikan kontur kampus, objek khas Surabaya (spanduk, kabel udara, *drone* komersial), dan gangguan visual yang tidak ditemukan dalam *dataset* standar seperti COCO atau ImageNet. Ini penting karena sistem yang dilatih pada data global sering gagal mengenali realitas lokal. CNN dalam IFKRETS bukan hanya mendeteksi objek, tetapi

juga mengklasifikasikan ancaman dan memprediksi pergerakan berdasarkan urutan *frame*.

Untuk pengambilan keputusan navigasi, IFKRETS mengintegrasikan *Reinforcement Learning* (RL) berbasis *Deep Q-Network* (DQN). DQN memungkinkan sistem belajar dari pengalaman setiap keputusan navigasi menghasilkan *reward* atau *penalty*, dan sistem memperbarui strategi berdasarkan hasil tersebut. Dalam simulasi, DQN digunakan untuk menghindari rintangan, memilih jalur optimal, dan melakukan *re-routing* saat konflik jalur terjadi. Namun, DQN memiliki keterbatasan dalam generalisasi dan membutuhkan banyak iterasi untuk stabil. Oleh karena itu, IFKRETS menggabungkan DQN dengan *Transfer Learning*, memanfaatkan model yang telah dilatih di skenario serupa untuk mempercepat adaptasi di medan baru.

Selain itu, untuk prediksi pergerakan objek dinamis seperti manusia atau *drone* lain, IFKRETS menggunakan *Long Short Term Memory* (LSTM) sebagai modul temporal. LSTM memungkinkan sistem memahami urutan pergerakan dan memprediksi posisi objek di masa mendatang. Ini penting dalam skenario navigasi *real-time*, di mana sistem harus memutuskan apakah akan mempercepat, berhenti, atau mengubah jalur berdasarkan prediksi pergerakan objek di depannya. LSTM bekerja berdampingan dengan CNN, membentuk arsitektur CNN-LSTM *hybrid* yang mampu membaca citra dan memahami dinamika spasial secara simultan.

Namun, pendekatan ini tidak tanpa kritik. CNN membutuhkan pencahayaan yang stabil dan sudut pandang yang konsisten untuk mempertahankan akurasi deteksi. Dalam kondisi lapangan yang dinamis seperti bayangan dari pepohonan, pantulan cahaya dari kaca gedung, atau perubahan intensitas cahaya saat kendaraan berpindah zona CNN dapat mengalami degradasi performa yang signifikan. Hal ini menjadi masalah serius dalam sistem mobil terbang yang beroperasi di ruang terbuka, di mana pencahayaan tidak bisa dikontrol dan sudut pandang kamera terus berubah akibat gerakan vertikal dan rotasi.

Selain itu, CNN bersifat statis terhadap waktu. Ia hanya membaca satu *frame* pada satu waktu, tanpa mempertimbangkan konteks temporal dari pergerakan objek. Ini menyebabkan sistem rentan terhadap *false positive* misalnya, mengenali bayangan sebagai objek solid, atau gagal membedakan antara objek yang bergerak menjauh dan mendekat. Untuk mengatasi keterbatasan ini, IFKRETS mengintegrasikan CNN dengan LSTM (*Long Short-Term Memory*), membentuk arsitektur *hybrid* CNN-LSTM yang memungkinkan sistem membaca urutan *frame* dan memahami dinamika spasial secara temporal. Namun, integrasi ini menambah beban komputasi dan membutuhkan optimasi khusus agar tetap *real-time* di atas platform *embedded*.

Kritik lain muncul dari sisi DQN (*Deep Q-Network*) yang digunakan untuk navigasi adaptif. Meskipun DQN memungkinkan sistem belajar dari pengalaman, ia membutuhkan banyak iterasi untuk mencapai stabilitas, dan

sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan. Dalam pengujian awal, DQN menunjukkan perilaku *overfitting* terhadap skenario pelatihan, sehingga sistem gagal beradaptasi saat dihadapkan pada medan baru yang tidak dikenali. Untuk mengatasi hal ini, IFKRETS menerapkan strategi *transfer learning* dan *fine-tuning* berbasis data lokal, namun pendekatan ini tetap membutuhkan waktu pelatihan tambahan dan validasi ulang setiap kali sistem dipindahkan ke lokasi baru.

Secara keseluruhan, pendekatan *machine learning* dalam IFKRETS bukan tanpa risiko. Ia membuka ruang adaptasi dan kecerdasan spasial, tetapi juga memperkenalkan kompleksitas baru dalam hal stabilitas, interpretabilitas, dan kebutuhan komputasi. Sistem ini harus terus diuji, dikritisi, dan disesuaikan dengan medan operasional yang berubah. Dalam konteks *showcase* dan kompetisi ilmiah, keberanian untuk mengintegrasikan *machine learning* harus diimbangi dengan dokumentasi yang transparan, strategi *fallback* yang jelas, dan kesadaran penuh terhadap batas-batas algoritmik yang digunakan.

Tabel 11. Alur Kerja Mobil Terbang

| Tahap Sistem | Deskripsi Modular |
|------------------------------------|--|
| Mulai | Inisiasi sistem IFKRETS dan aktivasi sensorik |
| Input | GPS, Radar, Kamera Vision (CNN) |
| Sensorik | Penggabungan input sensor menjadi representasi spasial |
| Fusi Data | Machine Learning (CNN, LSTM, DQN), evaluasi lingkungan |
| Pemrosesan Kritis | Rekalibrasi jalur, asesmen risiko, umpan balik |
| Keputusan Adaptif Evaluasi Otonomi | Apakah sistem mampu melanjutkan secara mandiri? |
| Output & Aksi | Eksekusi navigasi, kontrol gerak, stabilisasi |
| Simulasi & Validasi | Uji ketahanan, akurasi, latensi |
| Implikasi Strategis | Modularitas, interoperabilitas, relevansi sosial |

Tabel Alur IFKRETS bukan sekadar representasi alur teknikal, melainkan peta logika modular yang menunjukkan bagaimana sistem kendaraan udara ini membaca realitas, memproses ketidakpastian, dan mengambil keputusan berbasis pembelajaran spasial. Setiap tahap bukan hanya fungsi, tapi titik epistemik tempat di mana sistem diuji: apakah ia sekadar bergerak, atau benar-benar memahami.

Tahap "Mulai" bukan hanya inisiasi sistem, tapi penanda bahwa seluruh sensor dan logika adaptif aktif secara simultan. Di sinilah sistem mulai membaca dunia, bukan sebagai data mentah, tapi sebagai medan yang harus ditafsirkan. Tahap Input Data & Sensorik Multimodal menggabungkan tiga sumber utama: GPS, kamera vision (CNN), dan radar. Namun,

kritik utama di sini adalah redundansi dan konflik antar sensor. GPS rentan terhadap interferensi elektromagnetik di lingkungan kampus, kamera vision tergantung pencahayaan dan sudut pandang, dan radar memiliki *blind spot* terhadap objek kecil atau transparan. Maka, fusi data sensor bukan hanya penggabungan, tapi proses negosiasi antar realitas yang saling bertentangan. Sistem harus memutuskan: mana yang dipercaya, mana yang dikoreksi.

Masuk ke Unit Pemrosesan Kritis, sistem tidak hanya menjalankan algoritma, tapi membangun pemahaman spasial. Di sini, CNN digunakan untuk deteksi objek, LSTM untuk prediksi pergerakan, dan DQN untuk navigasi adaptif. Namun, masing-masing punya keterbatasan: CNN gagal dalam kondisi cahaya rendah, LSTM membutuhkan urutan data yang stabil, dan DQN rentan terhadap *overfitting* dan *noise reward*. Maka, sistem harus mampu menggabungkan ketiganya secara modular dan kontekstual. Basis data keputusan bukan hanya arsip, tapi ruang pembelajaran tempat sistem mengingat, membandingkan, dan mengadaptasi strategi berdasarkan skenario lokal.

Tahap Rekalibrasi & Asesmen adalah titik kritis. Di sinilah sistem diuji: apakah ia mampu mengenali ambiguitas, atau justru mengabaikannya. Deteksi ambigu atau risiko nol bukan sekadar *error*, tapi potensi kegagalan sistemik. Jika sistem gagal mengenali ancaman yang tidak terdefinisi, maka seluruh arsitektur navigasi runtuh. Maka, umpan balik adaptif bukan hanya koreksi, tapi mekanisme pertahanan epistemik cara sistem mempertahankan validitasnya di tengah ketidakpastian. Evaluasi Kondisi Operasional Otonomi adalah titik transisi antara sistem adaptif dan kendali manual. Di sini, IFKRETS menunjukkan bahwa ia tidak memaksakan otonomi, tetapi memiliki logika *fallback* yang bisa diaktifkan saat sistem tidak yakin. Ini penting dalam konteks *showcase* dan kompetisi ilmiah: sistem yang terlalu percaya diri tanpa mekanisme koreksi justru berisiko gagal total. Maka, keputusan untuk beralih ke kendali manual bukan kelemahan, tapi bukti bahwa sistem memiliki kesadaran batas algoritmiknya.

Tahap Output & Aksi Kendaraan bukan hanya eksekusi, tapi realisasi spasial dari seluruh proses sebelumnya. Di sinilah sistem mengubah keputusan menjadi gerakan: kecepatan, arah, manuver, dan stabilisasi. Namun, tanpa kontrol termal, *monitoring aktuator*, dan validasi *real-time, output* ini bisa menjadi titik kegagalan fisik. Maka, kontrol gerak dan stabilisasi harus dibaca sebagai lapisan proteksi terhadap keputusan yang salah.

Modul Simulasi & Validasi bukan pelengkap, tapi ruang pengujian epistemik. Di sini, sistem diuji terhadap skenario ekstrem: konflik visual, medan kompleks, dan *noise* spasial. Metrik seperti akurasi dan latensi bukan sekadar angka, tapi indikator apakah sistem mampu bereaksi dalam waktu yang relevan terhadap ancamannya. Jika latensi terlalu tinggi, maka sistem gagal menjadi adaptif.

Terakhir, Implikasi Desain Strategis menunjukkan bahwa IFKRETS bukan hanya sistem teknikal, tapi platform sosial. Modularitas dan interoperabilitas bukan hanya fitur, tapi

strategi untuk membuka ruang kolaborasi, adaptasi lokal, dan pengembangan kolektif. Dalam konteks mobilitas masa depan, IFKRETS bukan hanya kendaraan, tapi deklarasi bahwa teknologi harus bisa membaca realitas, beradaptasi terhadap ketidakpastian, dan tetap bisa dipertanggungjawabkan secara sosial dan akademik.

Dalam Enam Tahun ke depan, IFKRETS tidak bisa hanya diproyeksikan sebagai sistem yang “berfungsi lebih baik.” Itu terlalu dangkal. Yang harus dibahas adalah: apakah IFKRETS mampu bertahan sebagai sistem yang bisa diuji, dikritisi, dan direplikasi dalam konteks lokal yang terus berubah? Apakah sistem ini akan menjadi alat mobilitas, atau justru menjadi simbol teknologi yang tidak bisa diakses oleh komunitas yang paling membutuhkannya? Pertanyaan ini bukan retoris, tapi mendesak. Karena sistem yang tidak bisa dipertanggungjawabkan secara sosial akan gagal, meskipun secara teknikal ia sempurna.

Secara teknologis, IFKRETS harus menghadapi kenyataan bahwa pembelajaran mesin tidak cukup hanya dilatih pada data lokal. Dalam enam tahun, sistem ini harus mampu belajar dari konflik spasial yang tidak terdefinisi jalan yang berubah, objek yang tidak ada dalam *dataset*, dan *noise* yang tidak bisa diprediksi. CNN akan gagal jika pencahayaan berubah. LSTM akan gagal jika urutan data terganggu. DQN akan gagal jika reward tidak relevan. Maka, IFKRETS harus menjadi sistem yang tidak hanya adaptif, tapi juga reflektif: mampu mengenali batas algoritmiknya dan memutuskan kapan harus menyerah pada kontrol manual. Tanpa logika *fallback* yang transparan dan bisa diuji, sistem ini akan menjadi ancaman, bukan solusi. Dari sisi sosial, IFKRETS harus menjawab satu pertanyaan mendasar: siapa yang berhak mengakses teknologi ini? Jika dalam enam tahun sistem ini hanya bisa dioperasikan oleh institusi besar atau vendor tertentu, maka seluruh narasi “mobilitas masa depan” runtuh. IFKRETS harus bisa dimiliki, dimodifikasi, dan dikembangkan oleh komunitas lokal. Bukan hanya sebagai pengguna, tapi sebagai *co-designer*. Ini berarti dokumentasi harus terbuka, arsitektur harus modular, dan sistem harus bisa dijalankan di perangkat yang terjangkau. Tanpa itu, IFKRETS akan menjadi teknologi yang eksklusif, dan eksklusivitas adalah bentuk kegagalan sosial.

Secara akademik, IFKRETS harus menjadi ruang epistemik, bukan sekadar alat praktikum. Dalam enam tahun, sistem ini harus bisa digunakan untuk menguji teori pembelajaran spasial, logika pengambilan keputusan, dan integrasi sensorik. Tapi lebih dari itu, IFKRETS harus menjadi ruang kritik: tempat mahasiswa bisa membongkar, mengubah, dan menantang desain yang ada. Jika sistem ini tidak bisa dikritisi, maka ia bukan bagian dari pendidikan, tapi propaganda teknikal. Maka, dokumentasi harus menyertakan logika desain, asumsi algoritmik, dan batas-batas sistem secara eksplisit. Tanpa itu, IFKRETS akan gagal sebagai alat pembelajaran.

Secara strategis, IFKRETS harus menolak sentralisasi. Dalam enam tahun, sistem ini harus bisa beroperasi dalam jaringan kendaraan udara yang saling belajar, saling koreksi, dan saling berbagi data. Tapi ini hanya mungkin jika sistem dibangun

dengan prinsip interoperabilitas dan kontrol komunitas. Jika IFKRETS bergantung pada server pusat, vendor tunggal, atau protokol tertutup, maka ia akan menjadi sistem yang rentan terhadap monopoli dan manipulasi. Maka, *blockchain*, Web3, dan *dashboard* AI bukan sekadar fitur, tapi strategi untuk membebaskan sistem dari kontrol tunggal. Tanpa itu, IFKRETS akan menjadi sistem yang canggih tapi tidak berdaulat.

V. KESIMPULAN

IFKRETS bukan sekadar sistem navigasi udara. Ia adalah cerminan dari bagaimana teknologi bisa dibangun dengan kesadaran spasial, keberanian untuk beradaptasi, dan kerendahan hati untuk mengakui batasnya. Di balik setiap sensor, algoritma, dan keputusan adaptif, ada pertanyaan yang lebih dalam: apakah sistem ini benar-benar memahami dunia yang ia masuki? Apakah ia mampu membaca bukan hanya data, tapi juga konteks, konflik, dan ketidakpastian yang menyertai setiap ruang yang dilintasinya?

Dalam enam tahun ke depan, IFKRETS tidak cukup hanya menjadi lebih cepat, lebih akurat, atau lebih canggih. Ia harus menjadi lebih bijak. Bijak dalam mengenali kapan harus melaju dan kapan harus berhenti. Bijak dalam membedakan antara *noise* dan sinyal, antara ancaman dan peluang. Bijak dalam membuka ruang bagi manusia untuk tetap memegang kendali, bukan sebagai operator pasif, tetapi sebagai mitra kritis dalam sistem yang terus belajar. Karena teknologi yang tidak bisa dikritisi, tidak bisa dimodifikasi, dan tidak bisa dimiliki bersama, akan kehilangan makna sosialnya.

IFKRETS adalah ajakan untuk membangun teknologi yang berpihak. Berpihak pada komunitas yang selama ini terpinggirkan dari narasi mobilitas masa depan. Berpihak pada mahasiswa yang ingin belajar bukan hanya dari teori, tetapi dari sistem nyata yang bisa dibongkar dan dipertanyakan. Berpihak pada UMKM, relawan, dan warga lokal yang ingin menjangkau lebih jauh, lebih cepat, tanpa harus bergantung pada sistem yang tertutup dan mahal. IFKRETS adalah bukti bahwa teknologi bisa lahir dari akar lokal, tumbuh dengan logika kolektif, dan tetap relevan dalam lanskap global.

Dan di atas segalanya, IFKRETS adalah ruang harapan. Harapan bahwa mobilitas tidak harus eksklusif. Bahwa sistem cerdas tidak harus rumit. Bahwa inovasi tidak harus datang dari pusat, tetapi bisa tumbuh dari pinggiran dari ruang belajar, dari komunitas, dari semangat untuk membangun sesuatu yang lebih baik, lebih adil, dan lebih bermakna. Jika IFKRETS terus dikembangkan dengan semangat keterbukaan, keberanian untuk dikritisi, dan komitmen terhadap kebermanfaatan sosial, maka ia bukan hanya akan terbang di udara, tetapi juga menanamkan jejak di hati mereka yang percaya bahwa teknologi bisa menjadi alat perubahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya saya haturkan kepada seluruh dosen, pembimbing, dan rekan-rekan di Program Studi

Informatika UPN Veteran Jawa Timur. Tiga semester ini bukan sekadar perjalanan akademik, tetapi proses pembentukan cara berpikir, cara bermimpi, dan cara bertahan. Di ruang kelas, di balik layar laptop, di tengah malam yang penuh *debugging* dan revisi, saya belajar bahwa teknologi bukan hanya soal sistem yang berjalan, tapi tentang bagaimana kita memahami dunia dan berani mengubahnya.

Saya sangat bersyukur atas semua ilmu, kritik, dan ruang tumbuh yang telah diberikan. Setiap mata kuliah, setiap proyek kelompok, dan setiap diskusi telah membentuk saya menjadi pribadi yang tidak hanya ingin bisa, tetapi ingin terus bisa. Bisa belajar lebih dalam, bisa berkontribusi lebih nyata, dan yang paling penting bisa membanggakan kedua orang tua saya yang selalu menjadi alasan saya bertahan dan melangkah. Saya ingin mereka tahu bahwa setiap baris kode yang saya tulis, setiap diagram yang saya bangun, dan setiap presentasi yang saya susun, adalah bentuk cinta dan terima kasih saya kepada mereka.

Saya juga tahu, ini bukan tugas wajib. Ini bukan bagian dari silabus semester tiga. Bahkan, ini bukan *event* yang ditujukan untuk angkatan saya. Tapi justru karena itu, saya merasa tertantang. Saya ingin membuktikan bahwa mahasiswa Informatika angkatan 2024 pun bisa hadir, bisa bersuara, dan bisa membangun sesuatu yang layak diperhitungkan. Saya tidak datang sebagai peserta yang ditunggu, tapi sebagai pembelajar yang memilih untuk melampaui batas. Saya ingin menunjukkan bahwa saya tidak hanya bisa mengikuti, tapi juga bisa memimpin dalam cara saya memahami, membangun, dan menyampaikan gagasan.

Proyek IFKRETS, sistem mobil terbang modular adaptif yang sedang saya kembangkan, bukan hanya tugas teknikal. Ia adalah simbol dari mimpi saya: bahwa anak muda dari Surabaya bisa membangun sesuatu yang relevan, kritis, dan berdampak. Bahwa teknologi bisa lahir dari ruang belajar lokal dan tetap mampu bersaing di panggung global. Saya percaya jika sistem ini terus dikembangkan dengan semangat keterbukaan, keberanian untuk dikritisi, dan komitmen terhadap kebermanfaatan sosial, maka IFKRETS tidak hanya akan terbang di udara, tetapi juga menanamkan jejak di hati mereka yang percaya bahwa teknologi bisa menjadi alat perubahan.

Saya juga menyimpan harapan besar: semoga ada kesempatan untuk mengikuti program study exchange ke luar negeri. Bukan sekadar untuk jalan-jalan atau pamer, tapi untuk membawa nama baik kampus, memperluas wawasan, dan membuktikan bahwa mahasiswa Informatika dari UPNVJT bisa berkontribusi dalam ekosistem teknologi global. Saya ingin belajar dari dunia luar agar bisa kembali dan membangun lebih banyak ruang belajar di dalam negeri. Siapa tahu, kalau dosen-dosen saya membaca ini, saya bisa diajak, ya kan? Hehe. Tapi lebih dari itu, saya ingin membuktikan bahwa saya siap bukan hanya secara teknikal, tapi juga secara mental, sosial, dan akademik. Terima kasih atas semua ilmu, semua kritik, dan semua kesempatan yang telah diberikan. Saya akan terus belajar, terus berkarya, dan terus berjuang agar setiap langkah saya bisa

menjadi bentuk terima kasih yang nyata bagi kampus, bagi keluarga, dan bagi masa depan yang ingin saya wujudkan bersama teknologi yang berpihak.

REFERENSI

- [1] F. Irsyadi, D. N. Pratomo, S. J. Julianto, M. S. Anwar, dan A. A. P. Barus, “Desain dan Implementasi Sistem Navigasi pada Automated Guided Vehicle (AGV),” *Jurnal Listrik, Instrumenasi, dan Elektronika Terapan*, vol. 2, no. 1, 2021, doi: 10.22146/juliet.v2i1.64830.
- [2] M. Khosy'i'in, “Design of Autonomous Vehicle Navigation Using GNSS Based on Pixhawk 2.1,” *Skripsi Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung*, 2023.
- [3] G. A. Manu dan Y. A. Benufinit, “Pengembangan Sistem Absensi Online Berbasis Web Menggunakan Maps JavaScript API,” *Jurnal Teknologi Informasi*, 2022.
- [4] R. A. Pradipta, P. B. Wintoro, dan D. Budiyanto, “Perancangan Pemodelan Basis Data Sistem Informasi Secara Konseptual dan Logikal,” *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 10, no. 2, Mei 2022, doi: 10.23960/jitet.v10i2.2541.
- [5] H. Kurniawan dan G. Farell, “Pengembangan Sistem Absensi Otomatis Berbasis Deteksi Wajah Menggunakan Convolutional Neural Networks (CNN),” *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, 2023.
- [6] D. Kurniasih dkk., “Design Wireframe Aplikasi Bank Sampah dengan Metode Design Thinking,” 2024.
- [7] P. Pangestu dkk., “Pendekatan Extreme Programming pada Aplikasi HRIS Pengelolaan Absensi dan Penggajian PT Jaringan Global Robotik,” *Simpatik: Jurnal Sistem Informasi dan Informatika*, vol. 4, no. 2, Desember 2024.
- [8] J. Kecerdasan Buatan dkk., “Perancangan Aplikasi Absensi Siswa Berbasis NetBeans,” vol. 3, no. 2, 2022.
- [9] M. Cecilia Wibowo dan P. Adi Nugroho, “Perancangan Sistem Informasi Pengolahan Data Pegawai dan Penggajian dengan Metode Waterfall (Studi Kasus pada PT. Inawan Chemtex Sukses Abadi),” *SWADHARMA (JRIS)*, 2023.
- [10] E. Junianto, A. Firmansyah, dan W. Hadikristanto, “Sistem Informasi Presensi Kantor Desa Cibarusah Jaya Berbasis Desktop dengan Metode Waterfall,” *Journal of Information System, Applied, Management, Accounting and Research*, vol. 7, no. 3, hlm. 607–622, 2023, doi: 10.52362/jisamar.v7i3.1133.