

KONSEPSI GUNSHIP MENGGUNAKAN SMART WEAPON SYSTEM PADA PESAWAT ANGKUT TNI ANGKATAN UDARA DALAM RANGKA MENDUKUNG OPERASI MILITER TNI

Fibriyanto Dedy Nugroho^{1*}, Ade Teguh Budianto¹

¹Sekolah Staf dan Komando Angkatan Udara, Bandung, Indonesia

*Email: fibriyanto.dedy.nugroho@seskoau-mil.id

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk memberikan rekomendasi konseptual mengenai penerapan *gunship* berbasis *smart weapon system* berteknologi kecerdasan buatan (AI) pada pesawat angkut TNI Angkatan Udara guna meningkatkan efektivitas dan efisiensi pelaksanaan operasi militer, baik operasi perang maupun operasi selain perang. Penelitian ini menggunakan metode analisis deskriptif melalui studi kepustakaan, pengumpulan serta pengolahan data, dan observasi empiris. Analisis didasarkan pada pendekatan teori *Penta Helix* yang menekankan kolaborasi antara akademisi, industri, pemerintah, komunitas, dan media serta didukung oleh teori *air power*, teori manajemen, dan konsep *Artificial Intelligence* (AI). Pembahasan difokuskan pada analisis komparatif efektivitas pesawat angkut bersenjata terhadap jenis pesawat lainnya, strategi implementasi kolaboratif antarpemangku kepentingan, serta urgensi dokumentasi data dan sertifikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pesawat angkut dengan kemampuan *Gunship* berbasis *Smart Weapon System* memiliki efektivitas dan efisiensi lebih tinggi dalam mendukung operasi militer TNI. Penerapan konsep ini memerlukan dukungan infrastruktur yang memadai, sumber daya manusia terlatih, perangkat lunak pendukung, serta sinergi antara TNI AU, industri pertahanan, akademisi, komunitas, dan media. Dengan implementasi yang terencana, konsep tersebut berpotensi meningkatkan kesiapan operasional dan efektivitas pelaksanaan Operasi TNI.

Kata Kunci: *Artificial Intelligence, Gunship, Smart Weapon System*

ABSTRACT

The purpose of this research is to provide conceptual recommendations regarding the implementation of gunship aircraft equipped with smart weapon systems based on artificial intelligence (AI) technology on Indonesian Air Force transport planes to enhance the effectiveness and efficiency of military operations, both in wartime and in operations other than war. This study employs a descriptive analysis method through literature study, data collection and processing, and empirical observation. The analysis is based on the Penta Helix theory approach, which emphasizes collaboration between academics, industry, government, community, and media, and is supported by the theories of air power, management, and the concept of Artificial Intelligence (AI). The discussion is focused on a comparative analysis of the effectiveness of armed transport aircraft versus other types of aircraft, strategies for collaborative implementation among stakeholders, as well as the urgency of data documentation and certification. The research findings indicate that transport aircraft equipped with Gunship capabilities based on the Smart Weapon System demonstrate higher effectiveness and efficiency in supporting TNI military operations. The implementation of this concept requires adequate infrastructure support, trained human resources, supporting software, as well as synergy between the TNI Air Force, the defense industry, academia, the community, and the media. With a well-planned implementation, this concept has the potential to enhance operational readiness and the effectiveness of TNI operations.

Keywords: *Artificial Intelligence, Gunship, Smart Weapon System*

*Fibriyanto Dedy Nugroho
E-mail: fibriyanto.dedy.nugroho@seskoau-mil.id

I. PENDAHULUAN

TNI sebagai komponen utama pertahanan negara memiliki peran strategis dalam menjaga kedaulatan, keutuhan, dan integritas wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI). Berlandaskan nilai-nilai Profesional, Responsif, Integratif, Modern, dan Adaptif (PRIMA), TNI Angkatan Udara (TNI AU) mengemban tugas pokok untuk melaksanakan operasi udara dalam rangka penegakan kedaulatan negara serta perlindungan terhadap kepentingan nasional (MPR RI, 2017). Dalam konteks dinamika keamanan nasional, TNI AU dituntut mampu melaksanakan operasi udara khusus yang adaptif terhadap perkembangan ancaman, termasuk dukungan tembakan presisi terhadap *trouble spot* di wilayah Papua sebagai upaya menanggulangi potensi kerawanan dalam negeri.

Namun, pelaksanaan operasi udara khusus saat ini masih menghadapi sejumlah keterbatasan, khususnya terkait efektivitas dan efisiensi alutsista yang digunakan. Operasi udara yang dilakukan menggunakan pesawat *Supertucano* dan helikopter *Caracal* belum sepenuhnya optimal karena belum adanya sistem komando, pengendalian, dan komunikasi yang terintegrasi antara unsur pimpinan, pesawat tempur, dan pasukan darat. Kondisi ini berimplikasi pada keterlambatan pengambilan keputusan di lapangan dan potensi ketidaktepatan sasaran operasi. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan kemampuan sistem tempur udara yang lebih modern dan terintegrasi guna mendukung efektivitas operasi udara khusus TNI AU dalam menjawab tantangan pertahanan negara saat ini maupun di masa mendatang.

TNI Angkatan Udara (TNI AU) sebagai bagian integral dari Tentara Nasional Indonesia memiliki tanggung jawab strategis dalam menjaga kedaulatan dan keutuhan wilayah udara nasional. Berlandaskan nilai-nilai Adaptif, Modern, Profesional, Unggul, dan Humanis (AMPUH), TNI AU terus berupaya mengembangkan kemampuan operasional melalui inovasi teknologi pertahanan. Salah satu solusi yang relevan untuk menghadapi dinamika ancaman modern adalah penerapan konsep *Gunship* pada pesawat angkut dengan sistem persenjataan cerdas (*Smart Weapon System*) berbasis *Artificial Intelligence* (AI) guna mendukung pelaksanaan operasi militer.

Konsep *Gunship* ini mengoptimalkan penggunaan pesawat angkut TNI AU seperti C-130, CN-295, CN-235, C-212, dan B-737 sebagai platform serbu strategis yang dilengkapi sistem senjata berat berteknologi tinggi. Melalui integrasi AI, operator pesawat dapat memperoleh data taktis secara *real-time* dari pusat komando dan pasukan darat, sehingga meningkatkan koordinasi dan efektivitas serangan udara ke darat maupun laut. Sistem ini menggabungkan teknologi *Forward-Looking Infrared* (FLIR), *Communication Tactical Data Link System* (CTDLS), serta *Smart Weapon System* seperti *Gunnery*, *Smart Bomb*, dan *Sniper Advanced Targeting Pod* yang terhubung melalui konsol berbasis AI.

Implementasi konsepsi ini memerlukan dukungan pada aspek personel, sarana-prasarana, dan perangkat lunak. Pengembangan sumber daya manusia melalui *transfer of technology* (ToT) dan *operation training* perlu dilakukan bekerja sama dengan industri pertahanan nasional seperti PT Dirgantara Indonesia, PT Len Industri, PT Pindad, PT Infoglobal Teknologi Semesta, dan Garuda Maintenance Facility AeroAsia. Selain itu, diperlukan penguatan infrastruktur serta pengembangan perangkat lunak sistem AI yang terintegrasi dengan pesawat. Melalui langkah-langkah tersebut, diharapkan TNI AU dapat meningkatkan kemampuan tempur yang cepat, tepat, dan akurat, serta memperkuat interoperabilitas antar satuan, menuju terwujudnya TNI Angkatan Udara yang modern dan unggul dalam mendukung operasi militer di masa depan.

Saat ini, TNI Angkatan Udara memiliki beberapa jenis pesawat angkut, yaitu C-130 Hercules, CN-235, CN-295, C-212, dan B-737 (Hapsara et al., 2023). Namun, dari seluruh pesawat angkut tersebut, TNI Angkatan Udara masih belum memiliki pesawat militer strategis yang dilengkapi dengan kemampuan tempur jarak jauh dan dapat berfungsi secara maksimal dalam satu misi dengan dua sasaran. Hal ini menjadikan kemampuan pesawat angkut tersebut belum optimal dalam mendukung setiap misi pertempuran. Untuk mengatasi permasalahan ini, diperlukan pengembangan konsep *Gunship* dengan penerapan *Smart Weapon System* pada pesawat angkut

TNI Angkatan Udara guna mendukung operasi TNI. Implementasi konsepsi ini memerlukan upaya yang harus dilakukan baik di tingkat pusat maupun pada satuan kerja.

II. 2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode analisis deskriptif yang dilakukan melalui studi kepustakaan, pengumpulan, dan pengolahan data. Data yang digunakan meliputi bahan-bahan naskah sekolah serta hasil pengamatan empiris. Metode analisis deskriptif dipilih karena mampu memberikan gambaran sistematis dan mendalam mengenai objek penelitian tanpa melakukan manipulasi variabel, sehingga sesuai untuk memahami fenomena dalam konteks aslinya (Sugiyono, 2017). Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kesisteman (*system approach*). Pendekatan ini didasarkan pada konsep bahwa materi pembahasan merupakan sebuah totalitas yang terdiri dari berbagai unsur yang saling berhubungan, terkait, mempengaruhi, dan ketergantungan satu sama lain. Pendekatan kesisteman memungkinkan peneliti untuk memahami hubungan antar komponen secara holistik, sehingga dapat menjelaskan dinamika dan interaksi yang terjadi dalam penyusunan naskah. Pendekatan ini penting karena setiap bagian tidak dapat dipahami secara terpisah, melainkan harus dilihat sebagai bagian dari keseluruhan yang berfungsi menuju tujuan akhir yang diharapkan (Bertalanffy, 1968). Selanjutnya, keseluruhan sistem divisualisasikan dalam sebuah alur pikir untuk memperjelas struktur dan hubungan antar unsur dalam naskah.

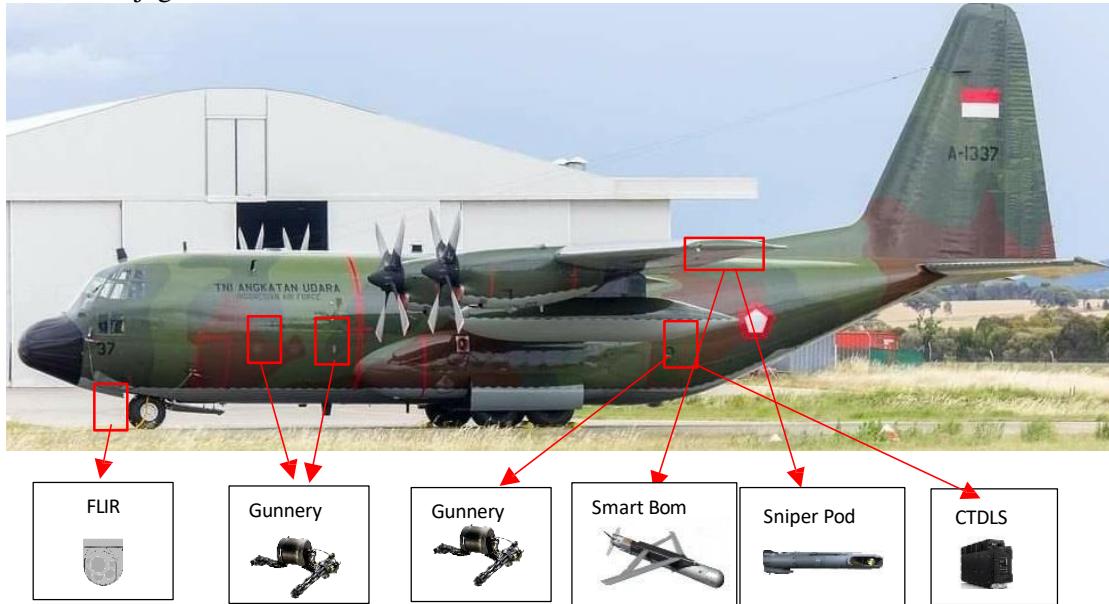
III. 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsepsi *Gunship* pada pesawat Angkut

Marsekal TNI (purn.) Fadjar Prasetyo menyatakan bahwa transformasi kekuatan udara (*Air Power*) TNI Angkatan Udara pada era modern bertujuan menyempurnakan perubahan struktural secara serentak. Reformasi organisasi menjadi perhatian utama untuk mempercepat, mengefektifkan, dan meningkatkan efisiensi struktur organisasi. Operasi kladestin yang selama ini dilaksanakan oleh pesawat Supertucano dan helikopter Caracal dinilai kurang efektif dibandingkan peran potensial pesawat angkut bersenjata. Mengingat keluasan wilayah Indonesia, pesawat angkut tempur seperti C-130 menawarkan keunggulan signifikan dalam hal kecepatan penempatan dan kapasitas angkut, misalnya, pergeseran Supertucano ke Papua membutuhkan dua hari, sementara C-130 hanya memerlukan sekitar delapan jam, sehingga mendukung respons cepat. Selain itu, kapasitas muat C-130 memungkinkan pengangkutan amunisi, peralatan, dan personel dalam jumlah besar serta fleksibilitas untuk misi non-tempur (evakuasi medis, bantuan kemanusiaan). Dari perspektif personel dan anggaran, pesawat angkut lebih ekonomis karena dapat mengurangi kebutuhan berbagai jenis platform untuk pencapaian efek operasi yang sama. Mekanisme bantuan tembakkan dan SAR tempur saat ini dinilai kurang efisien karena jeda komunikasi antara pengambil keputusan dan pelaksana di lapangan, sehingga target sering berpindah; konsepsi “*What I See is What You See*” (WISIWYS) diusulkan untuk memungkinkan pengambilan keputusan real-time oleh pimpinan. Modernisasi teknologi menjadi fokus lain, termasuk adopsi sistem senjata terintegrasi dan berorientasi sistematis.

Konsepsi *Gunship* berbasis Smart Weapon System pada pesawat angkut diidentifikasi sebagai langkah strategis modernisasi yang memerlukan koordinasi antarlembaga dan kesiapan operasional tinggi. Konsep ini mengintegrasikan teknologi seperti *Forward-Looking Infrared (FLIR)*, *Communication Tactical Data Link System (CTDLS)*, dan *Smart Weapon System (Gunnery, Smart Bombs, Sniper Advanced Targeting Pod)* yang terhubung ke konsol pesawat dan *Command Control Unit* untuk pengawasan dan pengambilan keputusan taktis secara langsung. Selanjutnya, integrasi kecerdasan buatan (AI) diusulkan untuk otomatisasi deteksi dan identifikasi target, analisis sensor (*FLIR, pods*), prediksi pergerakan musuh, serta rekomendasi aksi yang mendukung keputusan real-time dan meningkatkan presisi penargetan. Prototype konsep direncanakan pada C-130 eks-RAAF karena kompatibilitas harness kabel untuk pemasangan sistem. Implementasi modifikasi ini melibatkan Dislitbangau, Kohartmatau, dan Depo

Pemeliharaan (10, 20, 60) untuk mekanikal, avionik, dan integrasi senjata-AI, serta industri pertahanan dalam negeri. Dengan integrasi AI dan sistem senjata *air-to-ground*, pesawat angkut Gunship diharapkan meningkatkan efektivitas, presisi, dan fleksibilitas operasional TNI AU dalam menjaga kedaulatan dan keamanan nasional.



Gambar 1. Konsepsi Pesawat *Gunship*

Dalam konsepsi gunship yang dimodifikasi dari pesawat angkut TNI Angkatan Udara diusulkan integrasi sejumlah sistem canggih untuk meningkatkan efektivitas operasional. Arsitektur sistem meliputi sensor *FLIR* (*Forward-Looking Infrared*), *Communication Tactical Data Link System* (*CTDLS*), serta *Smart Weapon System* yang mencakup *gunnery*, bom pintar, dan *Sniper Advanced Targeting Pod* yang didukung kecerdasan buatan (AI). Kombinasi teknologi ini menghasilkan platform gunship yang adaptif dan mampu melaksanakan misi pada berbagai kondisi lingkungan dengan presisi tinggi. *FLIR* memberikan kapabilitas pengamatan termal sehingga deteksi dan pengintaian dapat dilakukan pada malam hari atau saat visibilitas rendah. *CTDLS* memastikan pertukaran data taktis yang cepat dan aman antara gunship dan unsur lain di medan operasi, sehingga meningkatkan koordinasi antarelemen. *Smart Weapon System* memungkinkan penyerangan presisi menggunakan berbagai amunisi, mulai dari bom pintar berbasis panduan GPS/INS hingga sistem penargetan jarak jauh seperti *Sniper Pod*, sehingga meningkatkan akurasi serangan. Integrasi teknologi mutakhir ini memperkuat kapabilitas taktis TNI AU dan meningkatkan kesiapan menghadapi perubahan ancaman dan evolusi taktik.

Secara sistemik, komponen-komponen utama yang diusulkan, yakni:

1. *Gunnery*, terdiri dari senjata putar berkecepatan tinggi seperti M61A1 dan meriam 30 mm DEFA. Sistem *gunnery* pada konsep ini terbagi menjadi subsistem hidrolik (penggerak mekanik) dan avionic (integrasi mekanik–elektrik). Konfigurasi yang diusulkan meliputi 1 unit M61A1 dan 2 unit 30 mm DEFA ditempatkan pada lokasi FS 257, 297, dan 717. Data tembakan diolah oleh *Modular Mission Computer* dan dikendalikan melalui stick gun oleh *Weapon System Officer* pada *Workstation* (WS2).
2. *Smart Bomb*, konsep menggunakan munisi berpresisi seperti Laser Small Diameter Bomb yang dilengkapi sirip pengendali dan panduan INS/GPS. Bom ini dapat menerima koordinat target sebelum rilis dan mengatur kontrol aerodynamic siripnya untuk memperpanjang jangkauan serta meningkatkan keakuratan saat mendekati sasaran.

3. Sniper Advance Targeting Pod

Sniper Pod merupakan generasi ketiga FLIR yang tidak hanya mampu mendeteksi sasaran di darat (Hoffman, n.d.), tetapi juga dapat mengarahkan persenjataan seperti gunnery maupun bom ke target. Sistem ini terdiri atas empat subsistem:

- *Servo Subsystem.* Pod dilengkapi gimbal yang berotasi 360° dan bergerak pada sumbu pitch serta yaw, didukung roll bearing dan roll actuator untuk menjamin pergerakan yang presisi dan stabil. Fitur rotasi dan penyesuaian ini memungkinkan penunjukan cepat dan akurat terhadap target, sehingga mendukung penyerangan dengan akurasi tinggi.
- *Power Distribution Subsystem.* Sistem distribusi daya memanfaatkan sumber daya pesawat (3-fase 400 Hz, 115 VAC, dan 27 VDC). Desain generasi terbaru mengeliminasi harness cable dengan koneksi langsung antar Line Replaceable Unit (LRU), meningkatkan efisiensi dan keandalan pasokan daya bagi semua komponen pod.
- *Environmental Subsystem.* Subsystem lingkungan mengatur temperatur internal pod untuk menjaga komponen elektronik dan mekanik berada pada suhu operasional yang optimal, sehingga mempertahankan kinerja selama operasi pada kondisi lingkungan ekstrem atau operasi berkepanjangan.
- *Sensor Subsystem.* Sensor meliputi FLIR generasi-3 dengan *Focal Plane Array* (FPA) yang mampu melihat area blind zone di fuselage dan sayap, serta perekaman kontinu terhadap target. Laser pada sistem berfungsi menghitung parameter persenjataan yang hendak diluncurkan. Selain fungsi penargetan, *Sniper Pod* mendukung rekognisi, termasuk pelacakan single/multi-target dan pointing, yang meningkatkan kapabilitas pesawat dalam misi udara ke darat. Kemampuan tambahan meliputi:
 - Penyajian citra inframerah (IR) pada malam hari dalam mode White Hot atau Black Hot untuk meningkatkan situational awareness.
 - Pelacakan optik target dan pengukuran jarak dengan akurasi tinggi untuk penentuan sasaran senjata.
 - Penunjukan laser presisi hingga ketinggian 50.000 kaki dengan ketepatan sekitar ±3 meter, memungkinkan penggunaan senjata berpemandu laser dan bom pintar.
 - Cakupan area 255° serta kemampuan Masking Zone untuk mencegah terkenanya pesawat sendiri dari kilatan laser, sehingga mendukung keamanan dan fleksibilitas taktik.

4. Forward Looking Infra Red (FLIR)

Dalam konsepsi gunship digunakan FLIR Star SAFIRE III (digunakan pada Supertucano), yaitu sistem EO/IR multi-spektral yang memungkinkan deteksi, identifikasi, dan pelacakan target secara andal pada siang maupun malam serta dalam berbagai kondisi lingkungan (Embraer, 2021). Fitur penting meliputi sensor spektrum tampak, NIR, dan MWIR, zoom optik 20× ditambah zoom digital, stabilisasi gimbal, serta kemampuan pelacakan otomatis. Sistem ini beroperasi 24/7 dan terdiri dari beberapa

LRU (*Panel Control Unit, Central Electronic Unit, Turret FLIR Unit, GPS antenna*), memberi masukan citra ke monitor kokpit dan terintegrasi ke CTDLS untuk pengiriman citra *real-time* ke Puskodal. Sebelum pemasangan pada C-130, FLIR akan melalui analisis aerodinamis komprehensif menggunakan simulasi komputer untuk mengevaluasi pengaruh terhadap aliran udara dan stabilitas pesawat. Hasil analisis akan menentukan rencana pemasangan dan modifikasi penopang atau posisi pemasangan agar integrasi memenuhi standar keamanan dan efisiensi aerodinamis serta memastikan integrasi antarmuka kontrol kokpit yang memadai.

5. *Communication Tactical Data Link System (CTDLS)*

CTDLS yang dikembangkan PT. LEN Industri memungkinkan transmisi data real-time antara pesawat, ground, dan pesawat lain (*Communication Tactical Data Link System (CTDLS)*, 2023). Sistem ini terdiri dari tiga unit utama: *Airborne Unit, Base Station Unit, dan Command Control Unit*. Pesawat berbekal CTDLS dapat berfungsi sebagai repeater. Data suara dan gambar yang dikumpulkan *Airborne Unit* diteruskan ke *Command and Control (C2)* di Puskodal. Rencana 2025 meliputi instalasi CTDLS pada beberapa KRI untuk mewujudkan interoperabilitas data antara pesawat dan KRI. Fungsi utama CTDLS meliputi penampilan peta digital, pengiriman data platform dan misi, pertukaran track, teks dan gambar, pertukaran area taktis, tactical display area, manajemen dan evaluasi track, serta area alert. Saat ini Base Station Unit tersebar di 15 titik di Indonesia dengan target penambahan menjadi 20 titik pada akhir 2025; tiga pesawat intai Boeing TNI AU telah terpasang CTDLS sehingga dapat memperluas cakupan. Dari sisi subsistem, CTDLS merupakan integrasi hardware dan software yang tahan gangguan, mendukung enkripsi tinggi dan transmisi cepat. Hardware terdiri dari LRUs seperti transceiver, antena militer, dan unit pemrosesan; perangkat lunak memberikan komunikasi dua arah aman dan pemrosesan data sensor. Interkoneksi ini dicapai melalui protokol khusus untuk menjamin kompatibilitas dan keandalan.

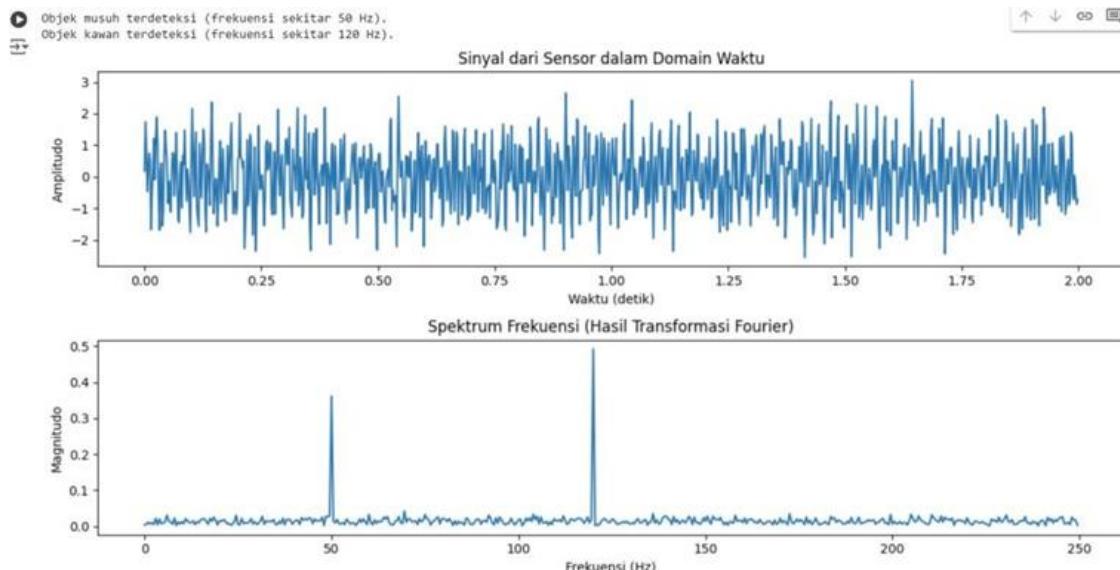
6. *Mission Workstation / Console*

Mission workstation berfungsi sebagai pusat kendali yang mengintegrasikan sistem persenjataan, FLIR, CTDLS, dan sistem lainnya melalui perangkat lunak berbasiskan Artificial Intelligence (AI). Workstation memproses dan menyajikan data sensor secara *real-time*, memberikan dukungan pengambilan keputusan cepat dan akurat bagi operator dalam kondisi dinamis. Antarmuka yang intuitif memungkinkan pengendalian persenjataan, pengaturan parameter FLIR, dan manajemen komunikasi via CTDLS. Dalam konfigurasi kabin terdapat dua workstation:

- *WS1 — TACCO (Tactical Commando)*. Mengintegrasikan sensor, navigasi, tampilan FLIR, dan CTDLS. Dikendalikan oleh Combat System Officer yang bertindak sebagai comandante misi dan berkoordinasi dengan Puskodal.
- *WS2 — Weapon System*. Mengintegrasikan gunnery, smart bombs, dan Sniper Pod dalam Smart Weapon System. Dikendalikan oleh Weapon System Officer yang bertanggung jawab atas operasi sistem senjata.

7. Sistem Pemrograman AI pada Pesawat Gunship

Pada pesawat gunship akan diintegrasikan sebuah sistem pemrograman berbasis *Artificial Intelligence (AI)* yang bertujuan meningkatkan kapabilitas operasional dan efektivitas misi tempur. Sistem tersebut tersusun dari komponen utama berupa modul pemrosesan data, algoritma machine learning, serta antarmuka pengguna yang terhubung dengan avionik pesawat. Berdasarkan kunjungan studi ke Shenzhen, China, terhadap prototipe kendaraan otonom Huawei, dipaparkan bahwa pusat komputasi modul AI dapat menggunakan Unit Komputer Modul (MDC) yang analog dapat diadaptasi untuk sistem ini.



Gambar 3.11 proses *Transformasi Fourier* yang diterapkan pada sinyal menggunakan *Python* dengan bantuan *Googlecolab* untuk merepresentasikan hasil *output Koding AI*

Gambar tersebut memperlihatkan hasil analisis sinyal menggunakan Transformasi Fourier yang diaplikasikan pada data sensor, seperti radar atau FLIR, yang diolah dengan kode Python. Tujuan dari proses ini adalah mengidentifikasi objek sebagai musuh atau kawan berdasarkan karakteristik frekuensinya. Pada plot pertama, tampak sinyal asli dalam domain waktu yang merupakan gabungan dari dua sinyal dengan frekuensi berbeda—50 Hz mewakili objek musuh dan 120 Hz objek kawan—serta noise yang mensimulasikan gangguan medan tempur. Pada tahap ini, sulit membedakan sumber sinyal secara langsung. Setelah Transformasi Fourier diterapkan, sinyal diubah ke domain frekuensi, seperti yang terlihat pada plot kedua, di mana puncak pada 50 Hz dan 120 Hz menunjukkan keberadaan objek musuh dan kawan. Puncak-puncak tersebut memungkinkan AI untuk mengenali dan mengklasifikasikan objek berdasarkan pola frekuensi. Informasi ini kemudian digunakan oleh operator guna mendukung pengambilan keputusan. Secara keseluruhan, penggunaan Transformasi Fourier memungkinkan sistem AI mengolah sinyal kompleks dan mendeteksi pola frekuensi yang relevan sehingga meningkatkan ketepatan dan efektivitas identifikasi target.

Pada bagian algoritma pembelajaran mesin, sistem AI menggunakan metode yang terus belajar dari data operasi sebelumnya, menyesuaikan dan meningkatkan strategi deteksi serta penargetan. Algoritma ini juga mampu memprediksi pergerakan target berdasarkan data historis dan kondisi lingkungan saat ini, memberikan rekomendasi optimal kepada operator. Salah satu algoritma yang sering digunakan dalam konteks ini adalah Convolutional Neural Networks (CNN), yang efektif dalam mengenali pola visual dari data FLIR dan radar. Rumus untuk jaringan saraf convolutional melibatkan operasi konvolusi pada data input sebagai berikut.

$$s(t) = (x * w)(t) = \sum_a x(a)w(t-a)$$

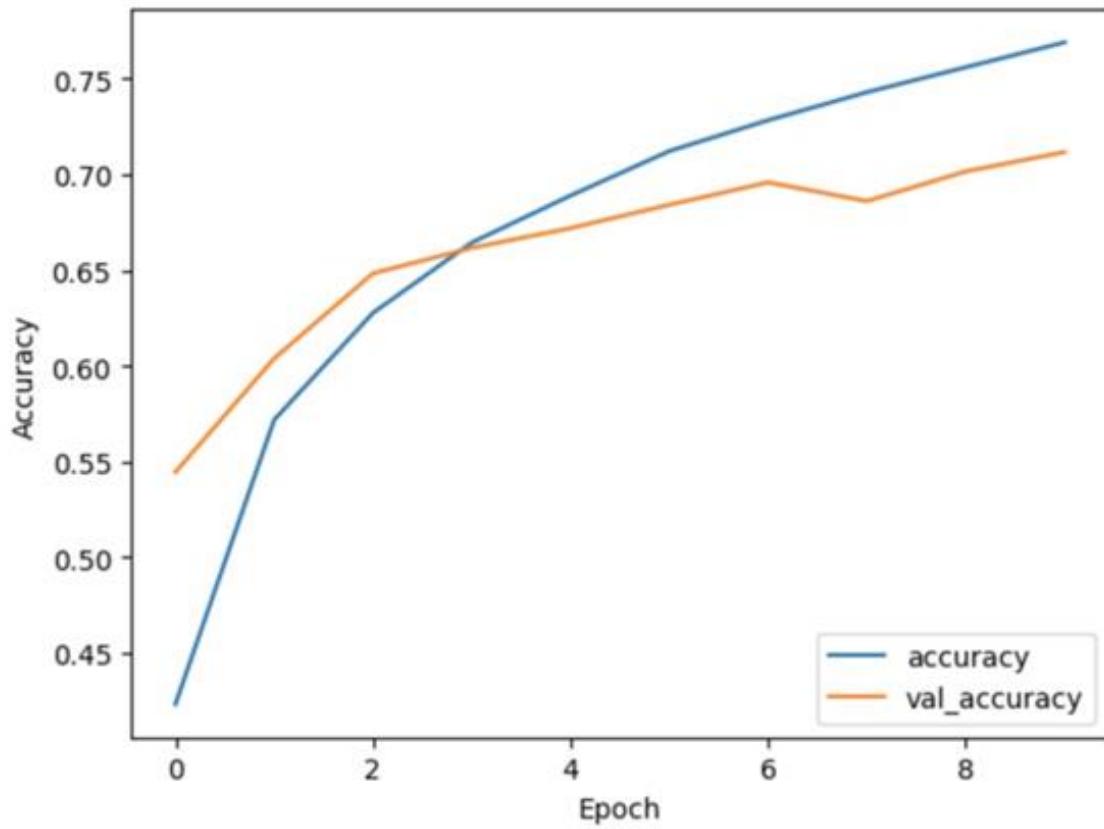
Keterangan:

- (1) $x(a)$ adalah input (misalnya, citra dari sensor FLIR)
- (2) $w(t-a)$ adalah kernel atau filter yang diterapkan
- (3) $s(t)$ adalah output fitur.

Dari rumus di atas, disimulasikan data dalam skrip Python yang menggambarkan bagaimana sistem AI dapat bekerja pada pengenalan objek menggunakan Convolutional Neural Networks

(CNN), yang bisa diterapkan pada sistem Gunship untuk mendeteksi musuh atau kawan dari data citra (misalnya gambar dari sensor FLIR atau kamera optik).

Test accuracy: 0.7116000056266785



313/313 ————— 5s 16ms/step

Gambar 3.13 proses *Convolutional Neural Network* (CNN) yang diterapkan pada sinyal menggunakan *Python* dengan bantuan *Googlecolab* untuk merepresentasikan hasil *output Koding AI*

Hasil pelatihan model Convolutional Neural Network (CNN) menunjukkan bahwa model yang dikembangkan untuk mendeteksi manusia pada citra udara yang diimplementasikan pada pesawat Gunship mampu mempelajari pola visual dari data kamera atau sensor optik pesawat. Dengan dataset yang mencakup variasi kondisi medan, model belajar karakteristik visual manusia sehingga akurasi meningkat seiring bertambahnya epoch. Akurasi pelatihan (garis biru) naik signifikan, sedangkan akurasi validasi (garis oranye) juga meningkat namun cenderung stabil setelah beberapa epoch. Pada pengujian akhir, model mencapai akurasi 71,16%, artinya sekitar 71% prediksi pada data validasi benar. Dalam operasi Gunship, model ini memungkinkan deteksi manusia otomatis dari citra udara, mempercepat pengambilan keputusan dan membantu operator mendapatkan informasi target secara cepat sehingga mengurangi risiko kesalahan penargetan.

- **Antarmuka Pengguna (User Interface)**

Antarmuka AI terintegrasi dengan konsol pesawat menampilkan visualisasi yang mudah dipahami oleh operator. Operator dapat berinteraksi dengan sistem—menerima rekomendasi target, memverifikasi keputusan AI, dan mengambil alih kontrol manual bila perlu. Sistem terhubung ke Command Control Unit sehingga informasi dapat dikirim real-time ke pusat

komando untuk pengambilan keputusan berbasis data terkini. Antarmuka dibangun dengan bahasa seperti C++ dan Python serta platform visual untuk dashboard intuitif dan real-time. Perangkat kerasnya mencakup layar multi-layer yang menampilkan berbagai data sensor sekaligus dan perangkat input manual bagi operator. Input sensor bisa berasal dari FLIR, radar, atau sumber lain.

- ***Gambaran Integrasi Sistem***

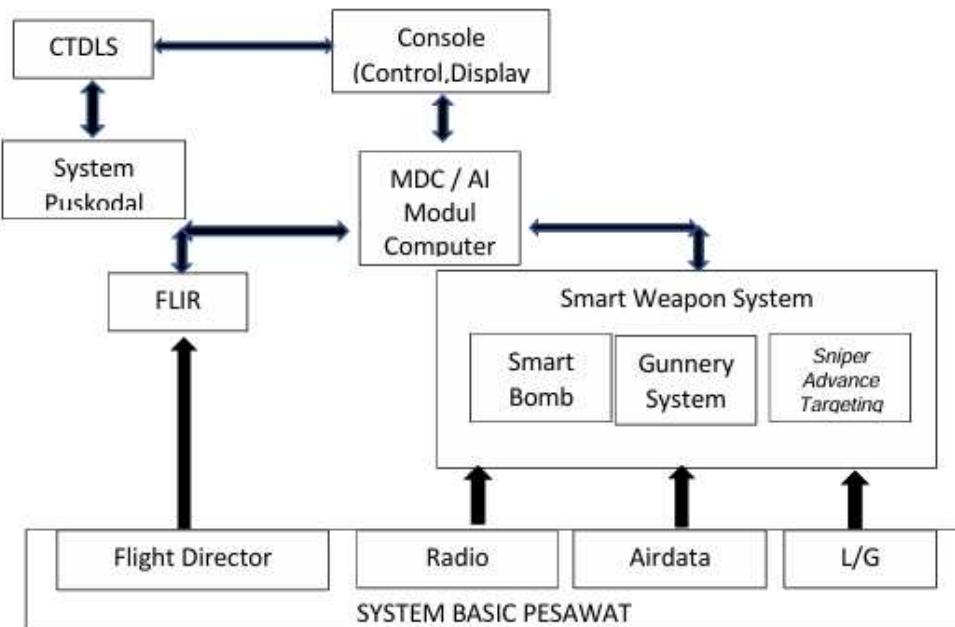
Sistem AI dirancang untuk terintegrasi penuh dengan subsistem Gunship seperti FLIR, CTDLS, dan sistem senjata pintar. AI mengkonsolidasikan dan menganalisis data sensor menjadi informasi penargetan. Setelah target diidentifikasi dan dikonfirmasi oleh operator atau pusat komando, AI dapat mengarahkan Smart Weapon System untuk menyerang dengan presisi tinggi. AI juga mampu melakukan analisis risiko (mis. memproyeksikan potensi collateral damage) dan memberikan alternatif bila serangan berisiko. Integrasi ini meningkatkan efektivitas misi sekaligus keselamatan operasional, menjadikan angkut Gunship lebih adaptif dan kapabel secara tempur.

- ***Sistem Interface dan Peran AI***

Gunship dengan *Smart Weapon System* dan AI menggabungkan sistem lama dan baru menjadi platform multifungsi. AI menyatukan data dari navigasi, FLIR, CTDLS, dan lainnya, memprosesnya secara real-time, lalu menyajikan hasil kepada operator dan *Command Control Unit*. *Smart Weapon System* dapat mengidentifikasi dan mengunci target otomatis, namun keputusan akhir penembakan tetap pada operator. AI membantu menentukan posisi optimal untuk serangan dan memfasilitasi komunikasi terus-menerus antarsatuan melalui CTDLS, sehingga meningkatkan efisiensi, mengurangi collateral damage, dan menjaga kontrol manusia.

- ***Input dasar sistem di pesawat:***

1. *Radio Altimeter*: menyediakan ketinggian akurat di bawah ~2.500 kaki untuk memastikan Smart Weapon System diaktifkan hanya pada kondisi ketinggian yang aman dan sesuai.
2. *Airdata System*: memberi data kecepatan udara, ketinggian, tekanan, dan temperatur; input penting untuk akurasi operasi sistem persenjataan pada kondisi penerbangan tertentu.
3. *Landing Gear Switch*: mencegah aktifnya Smart Weapon System saat pesawat masih berada di darat atau gear belum ditarik; berfungsi sebagai langkah pengamanan.
4. *Flight Director System*: memberi data heading dan pitch melalui gyro (Vertical dan Directional Gyro) yang diperlukan FLIR agar sensor tetap stabil dan menghasilkan citra/penjejak target yang akurat.



Gambar 2. Gunship with Smart Weapon System Block Diagram

Rancang bangun dan pengujian Gunship untuk mengintegrasikan Smart Weapon System pada pesawat angkut TNI AU meliputi langkah teknis berikut:

1. Survei Lapangan
Pelaksanaan survei untuk menilai kondisi pesawat saat ini dan kebutuhan modifikasi (airframe, penempatan LRU, sistem gunnery, integrasi senjata pintar, pemasangan Sniper Pod/FLIR, dan kebutuhan daya). Survei mencakup inspeksi visual dan analisis teknis untuk memastikan komponen baru dapat dipasang tanpa mengurangi kinerja atau keselamatan.
2. Penyusunan Dokumen
Menyusun Dokumen Teknis dan Kartu Kerja berdasarkan hasil survei sebagai pedoman pelaksanaan. Dokumen ini disusun oleh tim engineering dan menjadi acuan utama pelaksanaan di lapangan.
3. Modifikasi Airframe
Melakukan modifikasi struktural sesuai dokumen, termasuk perhitungan beban, analisis stress/strain, dan desain yang memenuhi persyaratan kelaikan udara agar penambahan perangkat tidak merusak struktur atau performa penerbangan.
4. Looming Kabel (Wiring)
Instalasi kabel dan harness untuk menghubungkan semua komponen sistem senjata sehingga unit-unit dapat saling berkomunikasi dan bekerja optimal; pemasangan harus rapi dan aman untuk mencegah gangguan.
5. Pemasangan Sistem Gunship
Pemasangan fisik semua sub-sistem (Sniper Pod, gunnery, smart bombs, dsb.) sesuai spesifikasi teknik dan prosedur pemasangan agar kompatibilitas dan fungsi terjamin.
6. *Ground Test Sistem*
Pengujian di darat yang memeriksa operasi tiap komponen, koneksi listrik/data, dan simulasi fungsi senjata untuk mendeteksi dan memperbaiki masalah sebelum uji terbang.
7. Uji Statis
8. Pengujian kekuatan/ketahanan sistem dalam kondisi diam menurut parameter yang ditetapkan untuk memastikan ketahanan terhadap kondisi lingkungan/operasional.
9. Uji Dinamis & Uji Terbang

10. Pengujian ketika pesawat bergerak (dinamis) dan uji terbang sesungguhnya untuk memverifikasi seluruh sistem berfungsi dalam kondisi misi nyata; ini merupakan evaluasi akhir kesiapan operasional.
11. Sertifikasi Proses formal sesuai Peraturan Sekretaris Jenderal Kementerian Pertahanan No.12/2021 untuk major modification, mencakup beberapa tahapan:
 - o a. Rapat Pengenalan (Familiarization Briefing): pembekalan semua stakeholder tentang aspek teknis, operasional, dan keselamatan.
 - o b. Verifikasi Dokumen: pemeriksaan Dokumen Manufaktur, Desain, dan Produksi untuk memastikan kepatuhan terhadap standar.
 - o c. *Conformity Inspection*: pengecekan kesesuaian antara desain (*drawing*) dan produk akhir.
 - o d. *Witness*: pengamatan pemenuhan regulasi *and acceptance test procedure*, serta analisis laporan uji.
 - o e. Penerbitan Izin Terbang Khusus: setelah dokumen dan hasil uji diverifikasi, diterbitkan izin untuk uji terbang/operasional.
 - o f. Pengujian Akhir (*Flight Acceptance Test*): uji terbang final dengan kehadiran tim sertifikasi; jika lulus diterbitkan *Flight Acceptance Certificate*.

Dengan melalui seluruh tahapan ini, integrasi *Smart Weapon System* pada pesawat angkut diharapkan aman, teruji, dan memenuhi persyaratan kelaikan serta efektivitas operasional.

Pelaksanaan modifikasi pesawat angkut menjadi *Gunship* dengan integrasi *Smart Weapon System* mensyaratkan penerbitan dokumentasi teknis sebagai bukti tertulis untuk keperluan perizinan dan sertifikasi kelaikan. Dokumentasi tersebut diklasifikasikan menjadi tiga dokumen induk utama:

1. *Compliance Documents*

Dokumen ini memuat analisis, dasar teknis, dan prosedur yang memastikan bahwa modifikasi memenuhi persyaratan keselamatan, struktur, dan regulasi. Unsurnya meliputi:

- o *Technical Description and Design Analysis*: gambaran umum sistem dan analisis desain keseluruhan.
- o *Supplement Equipment List*: daftar komponen tambahan yang diinstal.
- o *Static Loads Justification*: justifikasi pengaruh beban statis terhadap struktur pesawat.
- o *Damage Tolerance Alteration (DTA) for Extended Life*: analisis toleransi kerusakan untuk perpanjangan umur airframe.
- o *MSD and WFD Analysis* (sesuai FAR 26 Subpart C & E): identifikasi potensi *Multi-Site Damage* dan *Widespread Fatigue Damage* beserta langkah inspeksi.
- o *EMC Static & Dynamic Ground Test Procedures* dan *EMC Test Analysis*: prosedur dan hasil uji kompatibilitas elektromagnetik pada kondisi engine off/on serta analisisnya.
- o *Electrical Load Analysis (ELA)*: analisis beban listrik akibat instalasi sistem.
- o *Stress and Strain Analysis*: evaluasi kekuatan dan deformasi struktural pasca-modifikasi.
- o *Ground Test Procedure* dan *Flight Test Procedure*: prosedur uji di darat dan penerbangan untuk verifikasi fungsionalitas dan keselamatan.
- o *AI System Test Documents*: skenario dan hasil uji komponen kecerdasan buatan, termasuk validasi integrasi AI dengan sistem persenjataan.

- *Final Test Analysis*: ringkasan dan konklusi dari seluruh hasil pengujian terkait kelaikan dan efektivitas sistem.
2. *Technical Documents*
- Dokumen ini menjadi rujukan operasi dan pemeliharaan satuan setelah instalasi:
- *Illustrated Parts Catalogue (IPC)*: katalog bagian dan komponen.
 - *Operating Manual*: panduan pengoperasian sistem bagi kru.
 - *Overhaul Manual*: prosedur pemeliharaan besar dan perawatan berkala.
 - *Supplement Maintenance*: petunjuk pemeliharaan tambahan khusus untuk perangkat baru.
 - *Supplement Flight Manual*: penambahan prosedur penerbangan yang relevan dengan sistem *Gunship*.

3. *Drawing Documents*

Gambar teknis yang diperlukan untuk instalasi dan modifikasi airframe:

- *Installation Drawings*: diagram rinci prosedur pemasangan sistem.
- *Harness Routing Drawings*: diagram rute kabel dan pemasangan kelistrikan.
- *Airframe Modification Drawings*: gambar perubahan struktural airframe untuk mengakomodasi instalasi.

Implementasi *Gunship* menggunakan *Smart Weapon System*

Pelaksanaan konsep *Gunship* dengan integrasi *Smart Weapon System* pada pesawat angkut TNI Angkatan Udara memerlukan penerapan manajemen yang efektif sesuai dengan prinsip-prinsip George R. Terry dalam *Principles of Management* (1958), yang mencakup empat fungsi utama: perencanaan, pengorganisasian, penggerakkan, dan pengendalian.

1. Perencanaan (*Planning*)

Perencanaan merupakan tahap awal dalam menentukan tujuan jangka pendek dan panjang serta strategi pencapaiannya. Dalam konteks pengembangan *Gunship* berbasis *Smart Weapon System* dengan kecerdasan buatan (AI), tahap ini mencakup identifikasi kebutuhan operasional, analisis ancaman, serta penilaian lingkungan strategis. Rencana ini meliputi pengadaan teknologi, integrasi sistem AI, serta pelatihan personel agar seluruh elemen dapat beroperasi secara terpadu. Selain itu, penyusunan skenario operasional, simulasi misi, dan pengujian sistem turut dirancang untuk memastikan kesiapan dan efektivitas teknologi dalam berbagai kondisi tempur.

2. Pengorganisasian (*Organizing*)

Pengorganisasian menekankan pembentukan struktur kerja yang efisien dan terkoordinasi. Dalam implementasi *Gunship*, pengorganisasian mencakup pembentukan tim multidisiplin yang kompeten dalam bidang AI, avionik, persenjataan, dan komunikasi. Proses ini melibatkan alokasi sumber daya manusia dan material, penetapan rantai komando, serta pembagian tanggung jawab secara jelas. Struktur organisasi yang terencana dengan baik akan menjamin koordinasi yang efektif antara pengembang, operator, dan pihak manajerial, sehingga pelaksanaan modifikasi dan operasionalisasi sistem dapat berjalan optimal.

3. Penggerakkan (*Actuating*)

Fungsi penggerakkan berfokus pada upaya memotivasi, mengarahkan, dan mengoordinasikan anggota tim untuk mencapai tujuan bersama. Dalam proyek *Gunship*, penggerakkan dilakukan melalui peningkatan motivasi kerja, komunikasi efektif, serta program pelatihan berkelanjutan untuk menjaga fokus dan semangat tim menghadapi tantangan teknis maupun operasional. Penggerakkan juga mencakup pengambilan keputusan cepat dalam situasi kritis serta penyelesaian konflik secara konstruktif untuk menjaga efektivitas tim.

4. Pengendalian (*Controlling*)

Pengendalian dilakukan melalui proses pemantauan, evaluasi, dan koreksi terhadap pelaksanaan kegiatan agar tetap sesuai dengan rencana. Dalam konteks *Gunship*, fungsi ini mencakup

pengawasan terhadap kinerja sistem, termasuk efektivitas AI dalam pendekatan dan penentuan target, serta integrasinya dengan pusat komando dan sistem senjata. Setiap penyimpangan teknis atau operasional harus segera ditindaklanjuti dengan langkah korektif.

Evaluasi pasca-misi juga dilakukan untuk mengidentifikasi area perbaikan dan meningkatkan efektivitas misi di masa mendatang. Melalui integrasi keempat fungsi manajemen ini, TNI Angkatan Udara dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi pelaksanaan operasi militer baik di tingkat pusat maupun satuan kerja, sekaligus memastikan keberhasilan setiap misi sesuai tujuan strategis yang telah ditetapkan.

Dukungan Bidang untuk Implementasi *Gunship Smart Weapon System*

1. Bidang Sarana dan Prasarana

Keberhasilan implementasi *Gunship* membutuhkan kesiapan sarana dan prasarana yang memadai.

- a. Koharmatau (Komando Pemeliharaan Materiel TNI AU) memiliki tanggung jawab dalam pemeliharaan dan perawatan seluruh peralatan udara, termasuk pesawat, senjata, dan perlengkapan pendukung. Dengan fasilitas Depohar 10 yang mampu melaksanakan pemeliharaan berat dan fabrikasi pesawat angkut, Koharmatau telah memiliki peralatan umum (*general tools*), khusus (*special tools*), serta fasilitas fabrikasi yang siap mendukung modifikasi dan integrasi sistem *Smart Weapon System* pada pesawat angkut TNI AU.
- b. PT Dirgantara Indonesia (PT DI) berperan sebagai mitra strategis melalui kemampuan fabrikasi dan rekayasa pesawat yang unggul. Lokasinya yang berdekatan dengan Sathar 15 di Bandung memungkinkan sinergi optimal dalam pelaksanaan *reverse engineering*. Kolaborasi antara PT DI dan TNI AU akan mempercepat proses pengembangan, menekan biaya logistik, serta meningkatkan efisiensi dan kualitas hasil modifikasi guna memperkuat sistem pertahanan udara nasional.

2. Bidang Personel

Sumber daya manusia TNI AU, khususnya teknisi dan inspektur pesawat C-130, memiliki kompetensi tinggi yang diperoleh melalui pengalaman panjang. Namun, pengembangan *Gunship* berbasis *Smart Weapon System* menuntut peningkatan kapasitas melalui pelatihan lanjutan yang mendalam di bidang avionik, AI, dan integrasi sistem. Kolaborasi dengan PT Infoglobal diperlukan untuk pengembangan perangkat lunak integratif, sedangkan transfer teknologi dari GMF AeroAsia bersama Lockheed Martin dapat memperkaya kemampuan teknisi dalam sistem modernisasi C-130. Setelah instalasi dan pengujian sistem selesai, pelatihan operasional bersama antara pilot uji TNI AU dan PT DI akan memastikan penguasaan penuh terhadap sistem baru secara aman dan efisien. Sinergi pelatihan teknis dan operasional ini diharapkan meningkatkan kesiapan dan efektivitas pelaksanaan misi.

3. Bidang Piranti Lunak

Dukungan piranti lunak menjadi elemen penting untuk menjamin kelancaran operasi dan pemeliharaan. Terdapat tiga komponen utama, yaitu rekayasa (*engineering*), publikasi teknis, dan sistem informasi, yang saling berkaitan dalam mendukung implementasi *Gunship Smart Weapon System*.

1. Rekayasa (*Engineering*) berperan dalam melakukan analisis teknis, pengkajian sistem, dan pembaruan *Technical Order (TO)* untuk menjamin keandalan data teknis serta efektivitas modifikasi.
2. Publikasi Teknis mencakup *Technical Order (TO)*, *Technical Manual (TM)*, *Maintenance Manual*, dan *Work Card* yang menjadi acuan pelaksanaan operasi dan pemeliharaan. Sosialisasi dan pelatihan terkait publikasi ini diperlukan agar seluruh

personel memahami penerapannya secara konsisten, meningkatkan koordinasi, efisiensi, dan kesiapan operasional.

Pihak-pihak yang dapat mewujudkan *Gunship* menggunakan *Smart Weapon System*

Penerapan konsep Gunship dengan *Smart Weapon System* memerlukan kolaborasi lintas-sektor berdasarkan model *Penta Helix*, yang melibatkan pemerintah, industri, akademisi, komunitas, dan media. Sinergi kelima elemen ini menjadi kunci keberhasilan implementasi dan keberlanjutan program.

1. Pemerintah

TNI Angkatan Udara berperan sebagai pelaksana utama dan koordinator strategis.

- Dislitbangau bertindak sebagai *leading sector* dalam penelitian, pengembangan, dan koordinasi dengan industri serta akademisi.
- Puslaiklambangjaau bertanggung jawab atas sertifikasi kelaikan udara melalui *ground test* dan *flight test*.
- Depohar 10 dan Depohar 60 mendukung pemeliharaan, fabrikasi, dan integrasi sistem persenjataan bekerja sama dengan industri pertahanan dalam negeri.

2. Industri Pertahanan Dalam Negeri

Kolaborasi dengan industri nasional memperkuat kemandirian teknologi dan efisiensi operasional.

- PT DI menangani integrasi struktural dan pelatihan teknis.
- GMF AeroAsia mendukung modernisasi pesawat dan integrasi sistem.
- PT ITS mengembangkan sistem avionik dan kontrol senjata.
- PT Pindad menyediakan sistem senjata dan amunisi.

3. Akademisi

Akademisi berperan dalam riset, desain, dan analisis teknologi melalui kolaborasi dengan Dislitbangau dan industri. Model riset terintegrasi seperti di Huawei China dapat diadaptasi untuk memperkuat inovasi dan kemandirian teknologi pertahanan.

4. Komunitas

Keterlibatan komunitas AI, ahli senjata, dan pensiunan TNI memberikan masukan praktis serta memperkuat kesadaran publik terhadap pentingnya kemandirian pertahanan nasional.

5. Media

Media berperan dalam menyebarluaskan informasi, membangun opini positif, dan menunjukkan kemampuan Indonesia dalam mengembangkan teknologi militer mandiri, yang berdampak pada peningkatan citra dan efek deterensi nasional.

Implementasi AI pada Konsep *Gunship* menggunakan *Smart Weapon System* pada Pesawat Angkut TNI Angkatan Udara

Kelebihan konsep Gunship yang menerapkan Smart Weapon System pada pesawat pengangkut TNI Angkatan Udara dengan implementasi kecerdasan buatan (AI) sebagai berikut.

1. Peningkatan akurasi dan efektivitas penargetan

Penerapan kecerdasan buatan (AI) pada konsep Gunship pesawat pengangkut TNI AU meningkatkan akurasi dan efektivitas penargetan dengan mengintegrasikan data multi-sensor (FLIR, Sniper Advanced Targeting Pod, radar) secara waktu-nyata. Melalui algoritma pengenalan pola dan pembelajaran mesin, AI menghasilkan gambaran medan yang lebih komprehensif dan mampu memprediksi pergerakan target berdasarkan data

historis—mengurangi risiko salah sasaran atau target terlewat. Simulasi operasional menunjukkan peningkatan akurasi hingga 63% dibanding metode konvensional (Rokani et al., 2023), serta memungkinkan penargetan ganda simultan yang meningkatkan efektivitas operasi.

2. Percepatan pengambilan keputusan

Pengambilan keputusan dalam operasi militer merupakan proses vital yang mempengaruhi keberhasilan misi. Sebelum penggunaan AI, proses ini melibatkan analisis manual yang panjang dan rentan terhadap keterlambatan serta kesalahan manusia. Dengan integrasi AI yang terhubung ke Command Control Unit (CCU), data medan dapat dianalisis secara real-time, sehingga rekomendasi strategis dapat diberikan dalam hitungan detik. AI menilai kondisi operasi, posisi musuh, dan ancaman potensial, serta mempertimbangkan risiko seperti collateral damage dan efektivitas serangan. Dalam simulasi, AI mempercepat pengambilan keputusan hingga 53% dibandingkan metode konvensional (Bajwa et al., 2023). Selain itu, AI mengurangi beban kognitif operator dengan mengambil alih analisis data kompleks, sehingga memungkinkan fokus pada keputusan strategis dan mengurangi kesalahan akibat kelelahan atau stres.

3. Peningkatan interoperabilitas dan koordinasi

Integrasi AI dalam Communication Tactical Data Link System (CTDLS) mempercepat dan mempermudah pertukaran informasi antar-satuan militer. AI mengolah data dari berbagai sensor pesawat seperti FLIR dan radar, lalu mendistribusikannya secara real-time ke seluruh unit operasi, termasuk pusat komando dan pasukan darat. Informasi yang dibagikan meliputi data visual, koordinat target, dan analisis situasi, sehingga memperkuat koordinasi dan sinkronisasi antar-unit. Contohnya, pasukan darat dapat menyesuaikan taktik secara langsung berdasarkan data yang dianalisis AI. Selain itu, AI mengintegrasikan intelijen dari drone, satelit, dan unit pengintai untuk memberikan gambaran situasi yang lebih komprehensif, sehingga meminimalkan risiko miskomunikasi dan meningkatkan keseragaman tujuan serta keberhasilan misi.

4. Fleksibilitas dan adaptabilitas yang lebih tinggi

AI meningkatkan fleksibilitas Gunship secara signifikan dengan kemampuan analisis waktu-nyata dan pembelajaran adaptif, sehingga strategi penargetan dan taktik serangan dapat disesuaikan cepat terhadap perubahan kondisi lapangan (pergerakan musuh, cuaca, atau intervensi pihak ketiga). Kemampuan adaptif ini memungkinkan Gunship melaksanakan beragam misi, serangan langsung, pengintaian, hingga *Close Air Support* di berbagai lingkungan (perkotaan, hutan, pegunungan) dengan penilaian risiko medan terintegrasi, sehingga meminimalkan risiko dan memaksimalkan probabilitas keberhasilan operasi.

5. Peningkatan pengumpulan dan analisis intelijen

AI tidak hanya meningkatkan kapabilitas tempur, tetapi juga memperkuat pengumpulan dan analisis intelijen. Selama misi, AI mengintegrasikan data dari sensor optik, radar, dan sinyal musuh untuk membentuk gambaran situasi yang lebih lengkap dan akurat (Nam et al., 2022). Data terpadu tersebut dianalisis untuk mengidentifikasi pola, pergerakan, dan ancaman potensial—termasuk indikasi persiapan serangan atau reposisi pasukan—sehingga memperkuat dasar informasi bagi perencanaan operasional dan strategis. Selain itu, kemampuan pengintaian jarak jauh dan analisis real-time memungkinkan TNI AU bersikap lebih proaktif dalam mengantisipasi serta merespons dinamika medan.

Secara global, salah satu regulasi utama yang mengatur penggunaan AI dalam militer adalah *Guiding Principles on Lethal Autonomous Weapons Systems* (LAWS) yang dirumuskan oleh United Nations Convention on Certain Conventional Weapons (CCW) (Copeland et al., 2023). Prinsip ini menegaskan bahwa penggunaan AI dalam sistem senjata harus tetap berada di bawah

meaningful human control, yakni keputusan akhir dalam penggunaan senjata harus tetap dipegang oleh manusia untuk memastikan kepatuhan terhadap hukum humaniter internasional dan perlindungan hak asasi manusia. Regulasi ini sangat relevan bagi TNI AU dalam pengembangan dan implementasi AI pada sistem senjata, termasuk pesawat angkut dengan *Smart Weapon System*. Meskipun AI dapat melakukan deteksi dan penargetan otomatis, eksekusi serangan wajib melibatkan intervensi manusia guna mencegah penyalahgunaan teknologi dan menjamin pertimbangan etis. Selain itu, International Committee of the Red Cross (ICRC) menekankan pentingnya transparansi, akuntabilitas, dan kontrol manusia dalam penggunaan AI dalam konflik bersenjata (ICRC, 2021). Oleh karena itu, TNI AU harus memastikan bahwa penerapan AI tidak hanya mematuhi regulasi teknis, tetapi juga mempertimbangkan aspek etis dan hukum secara menyeluruh.

Di Indonesia, regulasi terkait pengembangan dan penggunaan AI di sektor militer harus selaras dengan berbagai undang-undang dan peraturan yang mengatur pertahanan dan modernisasi alutsista. Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2002 tentang Pertahanan Negara menekankan pentingnya modernisasi alutsista sebagai bagian strategi pertahanan nasional, termasuk integrasi teknologi canggih seperti AI untuk menghadapi ancaman kontemporer. Implementasi AI dalam konsep Gunship TNI AU harus dirancang untuk meningkatkan efektivitas operasi tanpa mengabaikan aspek keamanan serta kepatuhan terhadap hukum nasional dan internasional.

Undang-Undang Nomor 34 Tahun 2004 tentang Tentara Nasional Indonesia menggarisbawahi bahwa pengembangan kekuatan militer harus dilakukan secara bertahap dan terencana, termasuk adopsi teknologi baru seperti AI, dengan pengawasan ketat guna memastikan penggunaan yang efektif dan sesuai prinsip demokrasi serta hak asasi manusia. Peraturan Presiden Nomor 8 Tahun 2021 tentang Kebijakan Umum Pertahanan Negara 2020-2024 memberikan arahan strategis mengenai peningkatan kapabilitas teknologi pertahanan, menjadikan AI sebagai teknologi kunci untuk memperkuat kemampuan tempur dan daya saing militer.

Selain itu, Peraturan Menteri Pertahanan Nomor 8 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Penelitian dan Pengembangan Alat Peralatan Pertahanan di lingkungan Kemhan dan TNI juga menegaskan pentingnya penelitian dan pengembangan teknologi militer, termasuk AI, yang berorientasi pada peningkatan daya tempur dan perlindungan terhadap ancaman kompleks. Dalam konteks ini, TNI AU melalui Dinas Penelitian dan Pengembangan TNI Angkatan Udara (Dislitbangau) bertanggung jawab memastikan bahwa pengembangan AI dalam sistem senjata dan pesawat angkut memenuhi standar keamanan, efektivitas, serta kepatuhan regulasi yang berlaku.

Meskipun regulasi nasional dan internasional telah memberikan kerangka yang jelas untuk penggunaan AI dalam militer, implementasinya, khususnya dalam konsep Gunship TNI AU, menghadapi sejumlah tantangan. Salah satu tantangan utama adalah memastikan AI yang digunakan efektif namun tetap berada di bawah kontrol manusia, yang memerlukan pengembangan algoritma andal serta sistem pengawasan untuk memungkinkan intervensi manusia bila diperlukan. Selain itu, koordinasi antar lembaga pemerintah dan militer, seperti Dislitbangau, Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN), serta Kementerian Pertahanan, menjadi krusial guna memastikan inovasi teknologi tidak melanggar aspek keamanan siber dan perlindungan data sensitif.

Tantangan lain adalah kebutuhan pelatihan dan peningkatan kapasitas personel TNI AU agar mampu mengoperasikan dan mengelola teknologi AI secara efektif dan bertanggung jawab, termasuk mengambil alih kontrol saat situasi menuntut. Dengan mempertimbangkan regulasi serta tantangan tersebut, TNI AU harus melaksanakan implementasi AI dalam konsep Gunship secara hati-hati dan bertanggung jawab demi menjamin keberhasilan operasional sekaligus menjaga integritas serta kepatuhan terhadap hukum nasional dan internasional.

Kelebihan dan Kekurangan Konsep Gunship menggunakan Smart Weapon System pada Pesawat Angkut TNI Angkatan Udara

Berikut kelebihan utama konsep Gunship dengan *Smart Weapon System* pada pesawat angkut TNI AU.

1. Interoperabilitas

Menggunakan *Communication Tactical Data Link System* (CTDLS), pesawat dapat berkomunikasi dan bertukar data secara *real-time* dengan satuan darat dan pusat kendali, mempercepat pengambilan keputusan dan meningkatkan koordinasi antar satuan.

2. Peningkatan Kapabilitas Tempur

Pesawat angkut berfungsi ganda sebagai platform transportasi dan tempur, memungkinkan respons cepat terhadap ancaman dan mendukung berbagai misi, sekaligus mengurangi kebutuhan armada yang besar dan kompleks.

3. Efisiensi Operasional

Multifungsi sebagai transportasi dan platform serang, mengurangi kebutuhan pesawat khusus, menyederhanakan logistik, serta mempercepat respons terhadap situasi taktis.

4. Penggunaan Teknologi Canggih

Smart Weapon System memungkinkan penargetan presisi tinggi, mengurangi kerusakan kolateral dan meningkatkan efektivitas serangan, sehingga mempercepat penyelesaian misi dengan sumber daya yang lebih hemat.

5. Kemandirian Pertahanan

Pengembangan dan produksi sistem senjata pintar secara mandiri memperkuat kemandirian teknologi nasional, mengurangi ketergantungan asing, dan mendukung kemajuan industri pertahanan Indonesia.

6. Efek Deteran Terhadap Ancaman

Kehadiran gunship berperan sebagai pencegah ancaman baik dari kelompok separatis maupun teroris, dengan kemampuan respons tempur cepat dan presisi yang meningkatkan stabilitas dan keamanan nasional.

7. Fleksibilitas Taktis

Dapat digunakan dalam berbagai operasi, mulai dari dukungan udara jarak dekat, konterterorisme, hingga patroli perbatasan, sehingga meningkatkan kesiapan dan efektivitas TNI AU dalam menghadapi berbagai ancaman.

Berikut kekurangan dari konsep Gunship menggunakan *Smart Weapon System* pada pesawat angkut TNI Angkatan Udara.

1. Biaya Pengembangan dan Implementasi

Pengembangan dan integrasi Smart Weapon System membutuhkan biaya besar, mulai dari riset, pengujian, hingga sertifikasi, yang harus diajukan secara khusus ke pimpinan terkait.

2. Kompleksitas Teknis

Integrasi sistem senjata dan AI menambah tingkat kompleksitas teknis, sehingga memerlukan perawatan intensif dan dukungan teknis khusus, termasuk pelatihan bagi personel yang mengoperasikan sistem baru ini.

3. Adaptasi Operasional

Personel TNI AU perlu pelatihan berkelanjutan untuk mengoperasikan sistem ini secara efektif, yang membutuhkan waktu dan sumber daya ekstra agar konsep dapat berjalan sesuai rencana.

Secara keseluruhan, meski ada tantangan dan biaya yang cukup tinggi, konsep Gunship dengan *Smart Weapon System* tetap menawarkan keuntungan strategis besar bagi TNI AU. Dukungan pemerintah, terutama dari pimpinan militer yang berperan aktif dalam modernisasi pertahanan nasional, membuat penulis optimis konsep ini akan berhasil dan memperkuat kemandirian serta kemajuan pertahanan Indonesia di masa depan.

IV. KESIMPULAN

Implementasi konsep Gunship berbasis Smart Weapon System pada Pesawat Angkut TNI Angkatan Udara mengintegrasikan teknologi canggih seperti FLIR, CTDLS, dan AI untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi operasi militer TNI. Keberhasilan konsep ini memerlukan dukungan sarana, prasarana, personel terlatih, serta perangkat lunak yang memadai, yang didukung oleh kolaborasi erat antara TNI AU, industri pertahanan dalam negeri, akademisi, komunitas, dan media. Sinergi tersebut bertujuan untuk memastikan koordinasi optimal, meningkatkan kapabilitas operasional, serta memperkuat posisi TNI Angkatan Udara sebagai kekuatan udara yang profesional, modern, dan adaptif di tingkat regional.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sekolah Staf dan Komando Angkatan Udara (Seskoau) atas dukungan fasilitas penelitian, serta kepada Pusat Litbang Teknologi Pertahanan Udara atas dukungan data teknis dan konsultasi ilmiah.

VI. CATATAN PENULIS

Penulis menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan terkait dengan publikasi artikel ini dan menyatakan bahwa naskah ini bebas dari unsur plagiarisme.

VII. DAFTAR PUSTAKA

- Aslam, M. (2018). ASEAN-China FTA And The Impact nn Indonesian Manufacturing Industry. *Journal of Southeast Asian Studies*, 23(1). <https://doi.org/10.22452/jati.vol23no1.2>.
- Bajracharya, R., Shrestha, R., Hassan, S. A., Jung, H., & Shin, H. (2023). 5G and Beyond Private Military Communication: Trend, Requirements, Challenges and Enablers. *IEEE Access*, 11. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3303211>.
- Hapsara, D. A. B., Arman, A., & Abu, S. (2023). Kesiapsiagaan Pesawat Angkut C-130 untuk Penanggulangan Bencana Alam. *Strategi Pertahanan Udara*, 9(1). <https://doi.org/10.33172/jspu.v9i1.8227>.
- Mukhtadi, M. (2021). Strategi Pemerintah dalam Penanganan Gerakan Separatis Papua dan Implikasinya terhadap Diplomasi Pertahanan Indonesia (Government Strategies In Managing Papua Separatist Movement And Its Implications On Defense Diplomacy). *Jurnal Diplomasi Pertahanan*, 7(2). <https://doi.org/10.33172/jdp.v7i2.729>.
- MPR RI. (2017). MPR RI, UUD '45 dan Amandemennya.
- Nam, D., Chapiro, J., Paradis, V., Seraphin, T. P., & Kather, J. N. (2022). Artificial intelligence in liver diseases: Improving diagnostics, prognostics and response prediction. In *JHEP Reports* (Vol. 4, Issue 4). <https://doi.org/10.1016/j.jhepr.2022.100443>.
- Parker, J. R. (2010). Algorithms for Image Processing and Computer Vision (Wiley (Ed.)).
- Situmorang, A. T., Andreas Navalino, D., Studi Ekonomi Pertahanan, P., Manajemen Pertahanan, F., & Pertahanan, U. (2023). Pemberdayaan Usaha Mikro Kecil dan Menengah oleh Industri Pertahanan PT Pindad. *Jurnal Inovasi Penelitian*, 3(9).
- Sugiyono. (2017). Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D (Edisi 24). Alfabeta.
- TNI AU. (2024a). dislitbangau. Tni-Au.Mil.Id. <https://pop.tni-au.mil.id/tentang-kami/profilsatuan-detail/dislitbangau/1649>.
- TNI AU. (2024b). Koharmatau. Tni-Au.Mil.Id. <https://tni-au.mil.id/tentang-kami/profilsatuan-detail/koharmatau/1000>.
- TNI AU. (2024c). puslaiklambangjaau. Tni-Au.Mil.Id.
- Yulianto, A., Abu, S., & Marsono, M. (2023). Modernisasi Pesawat C-130 Hercules Kerjasama PT. Garuda Maintenance Facility Aeroasia Tbk dan PT. Dirgantara Indonesia. *Strategi Pertahanan Udara*, 9(1). <https://doi.org/10.33172/jspu.v9i1.8252>.