

DRONATRIX 2026: INOVASI DRON

TAJUK: PENGAWAL DI LANGIT *GUARDIAN ANGEL*

NAMA PASUKAN/KOLEJ: FREE SKY/KOLEJ MATRIKULASI JOHOR

TAHUN PERTANDINGAN: 2026

PENASIHAT	CIK MUNIRAH BINTI SULAIMAN
NAMA AHLI	MUHAMMAD SYAHMI BIN ROZMAN
	MOHAMMAD ADAM ZUHAIR BIN MOHAMMAD YUSUF
	UMAR HANZALAH BIN AZMAN
	MUHAMMAD NAUFAL BIN MOHD RADZUAN
	MUHAMMAD RAFIZIE BIN ROSMAN

1.0 PENGENALAN

1.1 LATAR BELAKANG

Keselamatan pelajar di kawasan Kolej Matrikulasi Johor (KMJ) merupakan aspek yang amat penting bagi memastikan suasana pembelajaran yang kondusif, selamat dan bebas daripada sebarang ancaman. Walaupun pihak pengurusan KMJ menyediakan pengawal keselamatan dan melaksanakan rondaan manual secara berkala, namun, pelbagai isu keselamatan masih berlaku secara tersembunyi dan sukar dikesan pada peringkat awal. Situasi ini disokong oleh laporan kes kecurian harta benda pelajar seperti basikal dan peralatan muzik yang turut berlaku di institusi pengajian tinggi walaupun terdapat pegawai keselamatan (Bahagian Keselamatan UPSI, 2026). Hal ini sekali gus membuktikan bahawa kawasan kampus masih terdedah kepada risiko keselamatan meskipun rondaan keselamatan dijalankan.

Selain itu, isu ini bukan sahaja berlaku di KMJ, namun sering berlaku di institut pendidikan yang lain, maka hal ini perlu dititikberatkan bagi menjamin keselamatan pelajar (Hoang, 2023; Rahman, Saad, & Yani, 2024; Kes buli UPNM: Apakah solusinya?, 2024). Sebagai contoh, insiden kebakaran bas milik Universiti Teknologi Malaysia (UTM) telah berlaku di perhentian bas Kampus Johor Bahru pada 21 Mei 2025. Hal ini amat membimbangkan, maka pihak universiti telah mengeluarkan kenyataan rasmi dan menegaskan komitmen mereka untuk mengekalkan tahap keselamatan tertinggi serta menjalankan siasatan dalaman bagi mengenal pasti punca kejadian dan langkah pencegahan yang lebih berkesan (UTM NewsHub, 2025). Oleh itu, adalah amat penting bagi KMJ untuk mengenal pasti isu keselamatan yang dihadapi dan mengambil langkah proaktif dalam merangka penyelesaian agar masalah tersebut tidak menjadi isu yang lebih serius pada masa hadapan. Tambahan pula, Kementerian Pendidikan Tinggi (KPT) juga telah menekan keperluan kepada sistem pengesanan awal dan pemantauan keselamatan yang lebih berkesan susulan insiden di sebuah universiti swasta di Kuala Lumpur pada 12 Januari 2026, yang mengakibatkan kematian serta kecederaan kepada pelajar dan kakitangan (Kosmo Digital, 2026). Hal ini demikian kerana, insiden seperti ini menunjukkan bahawa kelewatan dalam mengesan kebocoran gas atau peningkatan suhu boleh membawa kepada risiko besar terhadap nyawa dan keselamatan warga kampus. Oleh itu, adalah amat penting bagi KMJ untuk mengenal pasti serta mengesan isu keselamatan yang berlaku di persekitarannya bagi mengelakkan kejadian yang lebih serius, selaras dengan garis panduan dan sarana institut pendidikan yang lain.

Isu-isu keselamatan ini bukan sahaja mengakibatkan kerugian harta benda, malah turut memberi kesan negatif terhadap kesejahteraan emosi pelajar serta warga KMJ. Kejadian seperti kecurian, buli dan pencerobohan kawasan larangan boleh menimbulkan perasaan takut, cemas dan rasa tidak selamat, sekali gus menjejaskan tumpuan pelajar terhadap pembelajaran dan aktiviti harian di kampus. Keadaan ini disokong oleh kajian Mori et al. (2021) yang menyatakan bahawa perasaan tidak selamat di institusi pendidikan mempunyai hubungan yang signifikan dengan masalah kesihatan mental, termasuk simptom kemurungan serta tingkah laku bunuh diri dalam kalangan pelajar. Sekiranya isu keselamatan tidak ditangani secara sistematik dan berkesan, keadaan ini berpotensi mewujudkan persekitaran pembelajaran yang tidak kondusif serta menjejaskan kesejahteraan psikologi dan prestasi akademik pelajar dalam jangka panjang.

Oleh itu, KMJ memerlukan inovasi berasaskan kecerdasan buatan (AI) bagi mentransformasikan KMJ ke arah kampus matrikulasi pintar. Kebergantungan sepenuhnya kepada rondaan manual didapati kurang berkesan dalam memantau kawasan kampus yang luas, kompleks dan dinamik, terutamanya pada waktu malam atau di kawasan terpencil. Justeru, pendekatan konvensional ini perlu diperkukuh dengan penerapan AI yang mampu beroperasi secara autonomi, pantas dan berterusan bagi meningkatkan tahap keselamatan kampus secara menyeluruh berbanding kaedah manual yang hanya mampu mengawasi kawasan tertentu. Seajar dengan itu, Xiaomeng (2023) menjelaskan bahawa pengurusan keselamatan berasaskan AI dapat meningkatkan keupayaan pemantauan masa nyata, pengesanan awal risiko serta kecekapan tindak balas kecemasan di institusi pendidikan.

Sehubungan itu, penggunaan AI boleh diaplikasikan melalui teknologi dron dengan menciptakan sebuah dron rondaan keselamatan pintar yang dinamakan *Guardian Angel* (**Rajah 1.0**) sebagai inovasi memperkukuh sistem keselamatan KMJ selaras dengan tema “Dron Sebagai Pemangkin Transformasi Kampus Matrikulasi Pintar”. Dron ini dilengkapi dengan teknologi *AI Vision* dan pembelajaran mesin yang membolehkan pengesanan pergerakan serta tingkah laku mencurigakan dilakukan secara automatik. Penggunaan modul ESP32-CAM bersama kamera termal dan teknologi penglihatan malam (*night vision*) membolehkan pemantauan dijalankan dengan berkesan pada waktu malam atau dalam keadaan visibiliti rendah. Selain itu, integrasi sensor gas membolehkan pengesanan awal kebocoran gas dan kebakaran, manakala penggunaan sistem *Global Positioning System (GPS)* dengan fungsi penerbangan automatik, sensor halangan

infra-merah serta sistem komunikasi 4G LTE (*Long-Term Evaluation*) memastikan rondaan udara dapat dilaksanakan secara lebih tepat, selamat dan masa nyata. Berdasarkan Papyan, Kulhandjian, Kulhandjian, dan Aslanyan (2024), penggunaan dron keselamatan berasaskan AI membolehkan liputan kawasan yang lebih luas dalam tempoh masa yang lebih singkat berbanding rondaan darat atau kaedah pemantauan konvensional seperti usaha menyelamatkan berasaskan darat atau anjing pengesanan yang terlatih khas. Oleh itu, teknologi *Guardian Angel* ini berpotensi untuk diaplikasikan di KMJ bagi meningkatkan keupayaan pemantauan berterusan serta pengesanan awal tingkah laku mencurigakan seperti kes buli dan pencerobohan khususnya di kawasan kampus yang terpencil.



Rajah 1.0 *Guardian Angel*

Tambahan pula, dron *Guardian Angel* turut dilengkapi pembesar suara, mikrofon dan sistem penggera bagi memberi amaran awal atau arahan kecemasan di lokasi kejadian. Isyarat penggera auditori yang optimum membolehkan orang awam mengenal pasti bahaya dan melindungi diri mereka (von der Linde, Herbster, Dobel, Festag, & Thielsch, 2023). Selain itu, sistem bateri pintar berjangka hayat panjang, kipas ultra senyap, serta dock pengecasan automatik membolehkan dron ini beroperasi secara berterusan tanpa mengganggu persekitaran pembelajaran. Integrasi teknologi ini menjadikan *Guardian Angel* bukan sekadar alat pemantauan, tetapi satu sistem pencegahan dan tindak balas awal yang proaktif.

Secara keseluruhannya, pembangunan dron *Guardian Angel* selari dengan konsep kampus pintar (*smart campus*) dan penggunaan teknologi autonomi dalam institusi pendidikan. Projek ini diharapkan dapat meningkatkan tahap keselamatan KMJ, mengurangkan risiko kejadian tidak diingini seperti buli, kecurian dan kebakaran, serta mewujudkan persekitaran pembelajaran yang lebih selamat, terkawal dan berteknologi tinggi.

1.2 PENYATAAN MASALAH

Keselamatan pelajar di kawasan KMJ masih berada pada tahap yang membimbangkan walaupun rondaan keselamatan manual dan penempatan pengawal keselamatan telah dilaksanakan. Kebergantungan kepada rondaan secara konvensional didapati kurang berkesan dalam memantau kawasan kampus yang luas iaitu seluas 56 ekar, kompleks dan mempunyai banyak lokasi terpencil, terutamanya pada waktu malam. Keadaan ini menyebabkan pelbagai insiden keselamatan seperti kecurian harta benda, pencerobohan kawasan larangan, buli serta potensi risiko kebakaran dan kebocoran gas sukar dikesan pada peringkat awal. Hal ini demikian kerana, rondaan manual oleh pengawal keselamatan menghadapi beberapa cabaran seperti kekurangan jumlah pengawal, jadual kerja yang padat, dan risiko keselamatan peribadi pengawal itu sendiri, termasuk tekanan emosi dan tugas yang berulang (Du Toit, 2015; Rathinakumar & Ntantia, 2024). Beberapa insiden juga telah berlaku di institusi pendidikan yang lain, yang menunjukkan kelemahan sistem pengawasan tradisional ini. Misalnya, kes buli pelajar, kecurian alat muzik, kebakaran bas di UTM, dan letupan gas di sebuah universiti swasta membuktikan bahawa kawasan kampus yang luas dan dinamik tidak dapat dipantau sepenuhnya dengan rondaan manual sahaja.

Selain itu, sistem keselamatan sedia ada seperti rondaan darat dan kamera litar tertutup (CCTV) statik mempunyai beberapa keterbatasan, khususnya dari segi liputan kawasan, keupayaan pemantauan masa nyata, serta tindak balas pantas terhadap insiden kecemasan. Di KMJ, pemasangan CCTV hanya tertumpu di beberapa lokasi tertentu seperti blok kediaman, makmal, dan bangunan terpilih, seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 1.1**. Kelewatan dalam mengesan ancaman keselamatan bukan sahaja boleh mengakibatkan kerugian harta benda, malah turut membahayakan nyawa serta menjejaskan kesejahteraan emosi dan psikologi pelajar. Perasaan tidak selamat ini seterusnya boleh mengganggu tumpuan pembelajaran dan menjejaskan

prestasi akademik pelajar dalam jangka panjang. Walaupun sistem CCTV dapat memantau lokasi tetap secara berterusan, ia hanya menyediakan liputan terhad berdasarkan sudut kamera, sementara dron menawarkan kelebihan mobiliti dan keupayaan menjangkau kawasan sukar diakses (Hoang, 2023; Mehar, Singh, & Patel, 2025). Tambahan pula, kajian antarabangsa juga menunjukkan bahawa dron berintegrasi AI, kamera termal, dan sensor gas dapat mengesan pencerobohan, kebakaran, serta ancaman keselamatan lain dengan lebih pantas dan tepat, memberikan kelebihan berbanding kaedah konvensional (Hoang, 2023; Adama et al., 2025; Khashush, 2025; TT Aviation Technology Co., Ltd., 2025). Perkara ini menunjukkan bahawa *Guardian Angel* mampu untuk menyelesaikan isu keselamatan di KMJ dengan baik serta menyeluruh di setiap lokasi.



Rajah 1.1 CCTV di kawasan yang mempunyai keterbatasan dari segi liputan.

Sehubungan itu, terdapat keperluan untuk satu sistem keselamatan yang lebih pintar, proaktif dan berkeupayaan tinggi bagi membantu pihak pengurusan KMJ mengesan risiko keselamatan secara awal, menyeluruh dan berterusan. Namun begitu, ketiadaan sistem pemantauan keselamatan berasaskan AI yang mampu beroperasi secara autonomi dan fleksibel menjadi satu jurang yang perlu ditangani. Oleh itu, pembangunan dron rondaan keselamatan pintar *Guardian Angel* dilihat sebagai satu penyelesaian inovatif bagi mengatasi kelemahan sistem keselamatan sedia ada dan memperkukuh keselamatan kampus KMJ secara holistik.

Maka, wujudlah keperluan terhadap sistem pengawasan pintar yang mampu menggabungkan rondaan statik dan udara, bagi meningkatkan keberkesanan pemantauan, mempercepat tindak balas, dan mengurangkan risiko insiden tidak diingini. Projek dron *Guardian*

Angel direka khusus untuk menangani isu ini, dilengkapi *AI Vision*, kamera termal, GPS, sensor gas, pembesar suara dan penggera, bagi memastikan keselamatan kampus dipantau secara menyeluruh, efektif, dan berterusan (Mohd & Rozman, 2026).

1.3 OBJEKTIF

1. Membangunkan dron rondaan keselamatan *Guardian Angel* berasaskan *AI Vision* dan pembelajaran mesin untuk memantau kawasan kampus secara autonomi.
2. Mengesan dan memberi amaran awal terhadap aktiviti mencurigakan, pencerobohan, kebakaran, dan kebocoran gas, termasuk di kawasan sukar dicapai.
3. Menyediakan sistem keselamatan lebih fleksibel dan menyeluruh berbanding CCTV statik, dengan kemampuan pemantauan udara, tindak balas pantas, dan pengurusan risiko insiden.

1.4 KEPENTINGAN

Penggunaan dron rondaan keselamatan dalam konteks kampus dapat meningkatkan tahap keselamatan dengan membolehkan pemantauan yang lebih menyeluruh, pantas dan berterusan, termasuk di kawasan yang sukar diakses oleh pengawal keselamatan. Teknologi dron, secara umum, digunakan untuk pemantauan dalam pelbagai sektor kerana keupayaannya memberikan pemandangan udara yang meluas bagi tujuan pengesanan awal kejadian keselamatan. Oleh itu, KMJ dapat memantau perimeter yang luas dengan lebih berkesan dan sistematik. Selain itu, penggunaan dron dapat membantu mengurangkan beban kerja pengawal keselamatan kerana rondaan tidak lagi bergantung sepenuhnya kepada tenaga manusia, ini membolehkan pengawal memberi tumpuan kepada tindakan susulan dan pengurusan insiden. Dron juga sering digunakan untuk operasi pemantauan yang memerlukan capaian cepat dan luas.

Di peringkat dasar negara, kerajaan Malaysia telah membangunkan Pelan Tindakan Teknologi Dron Malaysia 2022-2030 (MDTAP30) melalui Kementerian Sains, Teknologi dan Inovasi (MOSTI) dan agensi pelaksana, Malaysian Research Accelerator for Technology and Innovation (MRANTI), untuk memperluaskan penggunaan teknologi dron dalam pelbagai sektor termasuk pemantauan dan keselamatan serta sokongan kepada pasukan keselamatan dalam keadaan kecemasan atau insiden yang memerlukan tindakan segera. MDTAP30 juga bertujuan memperkukuh ekosistem teknologi dron bagi meningkatkan kebolehcapaian dan penggunaan

inovatif teknologi ini secara menyeluruh di Malaysia (MOSTI, 2023; MRANTI, 2025). Maka, pendekatan penggunaan teknologi dron adalah sejajar dengan inisiatif transformasi digital dan Revolusi Industri 4.0. Pendekatan ini turut mencerminkan komitmen KMJ dalam mengintegrasikan teknologi pintar secara inovatif dan praktikal ke dalam sistem keselamatan kampus, seterusnya menyokong aspirasi ke arah pembentukan *smart campus*.

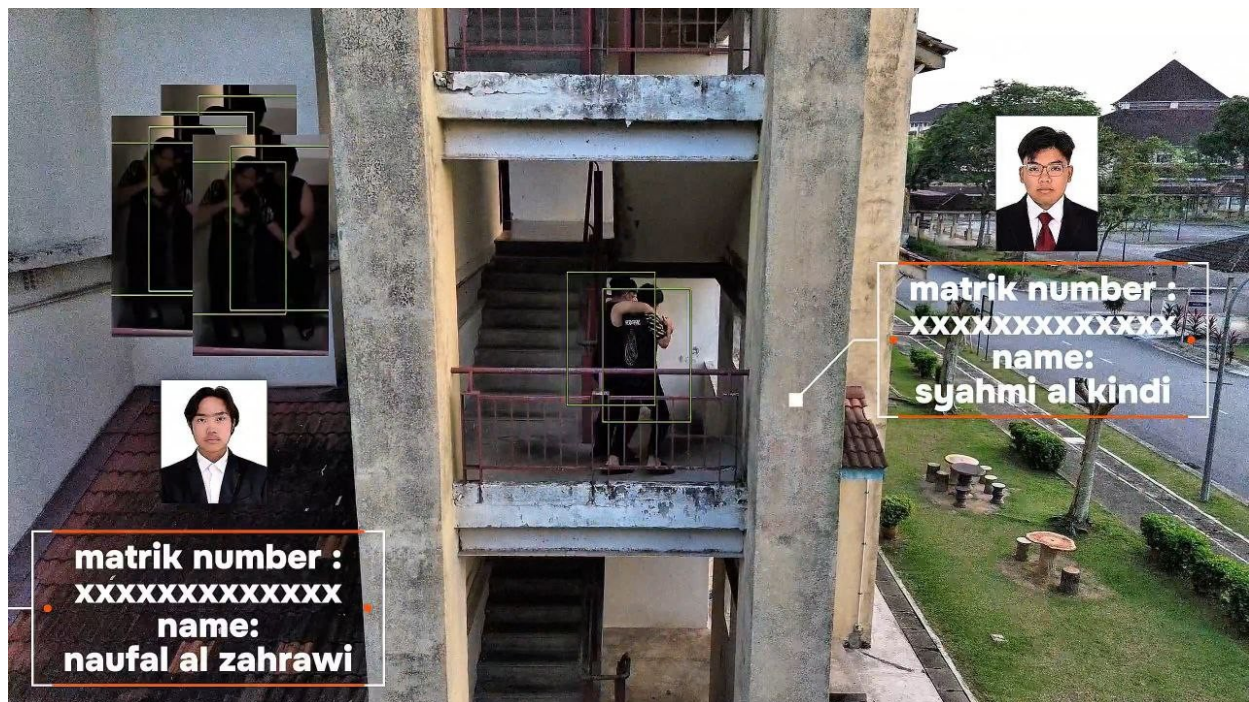
2.0 METODOLOGI

2.1 KONSEP DAN IDEA

Projek yang dinamakan *Guardian Angel* ini dibangunkan menggunakan pendekatan *Proof of Concept (POC)* bagi membuktikan kebolehlaksanaan penggunaan dron pintar sebagai sistem rondaan keselamatan berasaskan teknologi inovatif di kawasan kolej. Projek ini menggunakan sebuah dron asas sebagai platform penerbangan yang dilengkapi dengan modul kamera ESP32-CAM bagi tujuan pengambilan dan penghantaran data visual (**Rajah 1.0**). Rakaman video daripada kamera tersebut dihantar secara penstriman langsung ke komputer riba pengawal keselamatan kolej melalui sambungan WiFi, membolehkan pemantauan dilakukan secara masa nyata tanpa perlu melakukan rondaan fizikal menggunakan motosikal ke setiap kawasan kolej, yang memakan masa lebih lama. Hal ini disokong oleh kajian Balshetwar et al. (2021), yang menunjukkan bahawa penggunaan modul ESP32-CAM dalam sistem keselamatan mampu menyediakan pengesanan pergerakan secara masa nyata, rakaman imej automatik serta penghantaran amaran segera kepada pengguna dan pihak keselamatan melalui platform digital. Selain itu, sistem ini juga lebih kos efektif dan berupaya menawarkan tahap keselamatan yang lebih tinggi berbanding sistem pemantauan konvensional.

Pemprosesan *AI Vision* dan *Machine Learning* dilaksanakan pada komputer riba, di mana algoritma penglihatan komputer digunakan untuk mengesan objek seperti manusia, pergerakan luar biasa, atau aktiviti mencurigakan di kawasan pemantauan. Berdasarkan kajian Munawar et al. (2021), pelbagai pendekatan berasaskan penglihatan komputer telah diaplikasikan bagi menangani kekangan dalam pengesanan seperti pengesanan rekahan di bangunan. Walau bagaimanapun, pendekatan konvensional ini masih mempunyai keterbatasan dari segi ketepatan dan kebolehsuaian terhadap persekitaran yang kompleks. Oleh itu, kekangan tersebut boleh diatasi

melalui penggunaan pendekatan hibrid yang menggabungkan teknik AI dan *Machine Learning* bagi meningkatkan prestasi dan kebolehpercayaan sistem pengesanan. Oleh itu, sistem ini mampu memaparkan keputusan pengesanan secara masa nyata melalui paparan visual seperti kotak pengesanan dan label objek (**Rajah 1.2**). Bagi tujuan demonstrasi, dron *Guardian Angel* akan diterbangkan mengikut laluan penerbangan yang ringkas dan terkawal bagi mensimulasikan rondaan keselamatan automatik di sekitar kawasan kolej.



Rajah 1.2 Visual kotak pengesanan yang tertera maklumat pelajar.

Idea pembangunan projek *Guardian Angel* tercetus daripada keperluan untuk meningkatkan tahap keselamatan kolej, khususnya dalam menghadapi kekangan rondaan fizikal oleh pengawal keselamatan. Rondaan secara fizikal lazimnya terhad dari segi liputan kawasan, masa dan tenaga kerja. Dengan penggunaan dron rondaan, pengawal keselamatan tidak perlu bergantung sepenuhnya kepada rondaan fizikal yang akan mengambil masa yang lama atas faktor keluasan kolej yang besar serta dapat mengurangkan tenaga kerja pengawal berbanding seperti menggunakan sistem jadual rondaan fizikal yang berkala oleh setiap pengawal yang berbeza. Sebaliknya, dron *Guardian Angel* boleh digunakan untuk meronda kawasan yang luas, sukar dicapai atau berisiko tinggi seperti kawasan kolej kediaman lelaki dan perempuan, laluan belakang

bangunan asrama, kawasan parkir, perimeter bangunan serta kawasan terpencil di sekitar kampus, dengan lebih efisien dan selamat (**Rajah 1.3**). Selain itu, pemantauan terhadap blok kediaman yang berasingan, iaitu Blok A dan B bagi pelajar lelaki serta Blok C, D, E dan F bagi pelajar perempuan, dapat dilaksanakan secara lebih teratur dan berkesan melalui rondaan udara berjadual.



Rajah 1.3 Perimeter kawasan KKMJ.

Sebagai sebuah sistem keselamatan pintar, *Guardian Angel* dicadangkan untuk dilengkapi dengan pelbagai ciri pintar bagi menyokong operasi rondaan secara automatik dan berkesan. Selain penggunaan *AI Vision* dan *Machine Learning* untuk meningkatkan ketepatan pengesanan identiti seperti pengecaman wajah, nama dan nombor matrik pelajar, sistem ini turut mengintegrasikan GPS. Penggunaan GPS membolehkan dron mengikuti laluan rondaan yang telah ditetapkan di setiap kawasan kolej secara autonomi tanpa memerlukan kawalan manual oleh pengawal keselamatan, di samping menyokong fungsi seperti penjejakan lokasi dan *Return to Home* sekiranya berlaku kecemasan (Al-Saedi et al., 2016; Mehar, Singh, & Patel, 2025). Selain itu, integrasi kamera *night vision* atau *thermal* membolehkan aktiviti pemantauan dijalankan dengan berkesan pada waktu malam atau dalam keadaan pencahayaan rendah, khususnya di kawasan kolej kediaman yang sunyi, dengan mengesan kehadiran manusia berdasarkan haba badan dan pergerakan (Zhao et al., 2022; Rathinakumar & Ntantia, 2024).

Dari sudut pelaksanaan sistem AI, proses pengaturcaraan dibangunkan menggunakan bahasa pengaturcaraan Python dengan sokongan pustaka OpenCV dan YOLOv8, di mana OpenCV digunakan untuk pemprosesan imej dan video secara masa nyata seperti penapisan bingkai dan pengendalian aliran video, manakala YOLOv8 diaplikasikan sebagai algoritma pengesanan objek berasaskan pembelajaran mendalam bagi mengenal pasti kehadiran manusia serta pergerakan mencurigakan dengan pantas dan tepat (Setiaji & Triyanto, 2025; Syahrudin, Utami, & Hartanto, 2024). Keseluruhan kod ditulis dan diuji menggunakan PyCharm, sebuah persekitaran pembangunan bersepadu (IDE) yang menyokong pengurusan projek Python, *debugging* dan integrasi pustaka secara efisien (Journal of Emerging Technologies and Innovative Research, 2023). Keputusan pengesanan ini akan dipaparkan secara visual dalam bentuk kotak pengesanan dan label objek, seterusnya menyokong tindakan pantas oleh pengawal keselamatan.

Sambungan 4G LTE membolehkan penghantaran data video dan kawalan dron dilakukan pada jarak jauh tanpa bergantung sepenuhnya kepada rangkaian WiFi tempatan, sekali gus meningkatkan liputan operasi dan kestabilan komunikasi dalam kawasan kampus yang luas (Sharma & Kumar, 2021; Hoang, 2023). Dari aspek keselamatan penerbangan, sensor halangan inframerah (*IR obstacle sensor*) digunakan bagi mengelakkan pelanggaran dengan objek seperti dinding, pokok atau bangunan, seterusnya meningkatkan kestabilan dan keselamatan operasi dron (Chen et al., 2020). Tambahan pula, penggunaan sensor gas membolehkan pengesanan awal kebocoran gas berbahaya atau asap kebakaran, menjadikan *Guardian Angel* bukan sahaja sebagai sistem rondaan keselamatan tetapi juga sebagai alat pemantauan kecemasan (Kumar & Singh, 2019).

Bagi meningkatkan interaksi dan respons keselamatan, *Guardian Angel* dilengkapi dengan pembesar suara dan mikrofon bagi membolehkan komunikasi dua hala antara pengawal keselamatan dan individu di kawasan rondaan, selari dengan konsep sistem keselamatan responsif moden (Adama et al., 2025). Ciri kipas ultra senyap (*ultra silent fan*) dicadangkan bagi mengurangkan bunyi semasa penerbangan, membolehkan pemantauan dilakukan secara lebih rahsia tanpa menarik perhatian (Khashush, 2025). Selain itu, sistem dok pengecasan automatik seperti konsep robot vakum pintar membolehkan dron kembali ke stesen pengecasan secara sendiri apabila tahap bateri rendah, manakala penggunaan bateri pintar (*smart battery*) menyokong tempoh penerbangan yang lebih lama, pemantauan tenaga secara masa nyata serta pengurusan

kuasa yang lebih cekap melalui sistem perlindungan dan pengoptimuman tenaga terbina dalam (Park et al., 2022).

Secara keseluruhannya, projek *Guardian Angel* bukan sahaja bertujuan membuktikan konsep penggunaan dron sebagai alat rondaan keselamatan berasaskan AI, malah menunjukkan potensi besar teknologi automasi dan sistem pintar dalam meningkatkan tahap keselamatan kampus. Projek ini mampu membantu mencegah kejadian tidak diingini, mengurangkan kebergantungan kepada rondaan fizikal semata-mata, serta menyokong usaha kolej dalam menerapkan teknologi moden selari dengan keperluan era digital dan Revolusi Industri 4.0 (Malaya Newsroom, 2025).

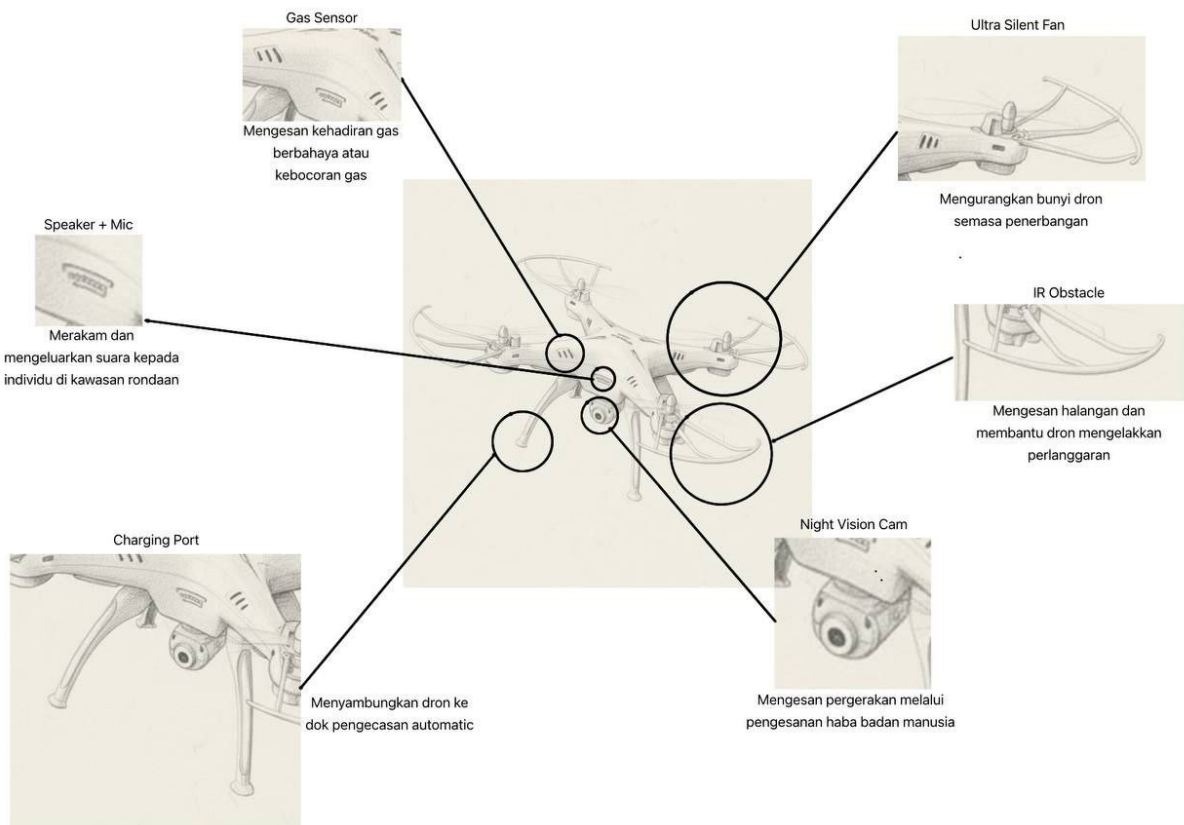
2.2 TEKNOLOGI YANG DIGUNAKAN

Sistem *Guardian Angel* direka sebagai sebuah dron rondaan keselamatan pintar yang menggabungkan pelbagai ciri teknologi moden bagi meningkatkan kecekapan, ketepatan serta kebolehpercayaan operasi. Sistem ini menggunakan *AI Vision* dan *Machine Learning* untuk menganalisis rakaman video secara masa nyata bagi mengesan kehadiran manusia, pergerakan luar biasa dan aktiviti mencurigakan, di samping berpotensi meningkatkan ketepatan pengesanan melalui pembelajaran berterusan. Integrasi GPS untuk penerbangan automatik membolehkan dron menjalankan rondaan secara berjadual mengikut laluan yang telah ditetapkan serta menyokong fungsi keselamatan seperti penjejakan lokasi dan *Return to Home*. Bagi memastikan pemantauan berkesan dalam keadaan cahaya rendah, sistem ini dicadangkan dilengkapi dengan kamera terma atau *night vision* yang mampu mengesan kehadiran manusia berdasarkan haba badan, terutamanya di kawasan kolej kediaman dan perimeter kolej pada waktu malam. Sambungan 4G LTE pula membolehkan penghantaran data video dan kawalan dron dilakukan secara jarak jauh tanpa bergantung sepenuhnya kepada WiFi, sekali gus meningkatkan liputan dan kestabilan komunikasi.

Dari aspek keselamatan penerbangan, sensor halangan inframerah (*IR obstacle*) digunakan bagi mengelakkan pelanggaran dengan objek di sekeliling, manakala sensor gas membolehkan pengesanan awal kebocoran gas atau bahan berbahaya, menjadikan dron ini sebagai alat rondaan dan pemantauan kecemasan. Sistem ini turut dilengkapi dengan speaker dan mikrofon bagi membolehkan komunikasi dua hala antara pengawal keselamatan dan individu di kawasan rondaan, serta kipas ultra senyap (*ultra silent fan*) yang menyokong operasi pemantauan secara

lebih rahsia tanpa menarik perhatian. Dari segi reka bentuk fizikal, dron ini dicadangkan mempunyai berat keseluruhan sekitar 1.5 hingga 1.8 kilogram, menjadikannya cukup ringan untuk penerbangan stabil tetapi masih mampu membawa pelbagai modul sensor tambahan. Dron ini juga direka untuk beroperasi pada kelajuan penerbangan purata antara 5 hingga 10 meter sesaat, sesuai untuk rondaan keselamatan yang memerlukan pemantauan terperinci dan pergerakan yang terkawal.

Bagi menyokong operasi berterusan, dok pengecasan automatik seperti konsep robot vakum pintar membolehkan dron kembali mengecap secara sendiri apabila bateri hampir habis, manakala penggunaan bateri pintar (*smart battery*) memastikan tempoh penerbangan yang lebih lama, pemantauan tenaga secara masa nyata serta pengurusan kuasa yang lebih cekap (**Rajah 1.4**). Secara keseluruhannya, gabungan ciri-ciri ini menjadikan *Guardian Angel* sebuah sistem rondaan keselamatan berasaskan dron yang pintar, autonomi dan berpotensi tinggi untuk diaplikasikan dalam persekitaran kampus (**Rajah 1.5**).



Rajah 1.4 Lakaran dron yang dilengkapi dengan pelbagai komponen dan fungsinya.



Rajah 1.5 Gambaran dron sebenar beserta label komponen.

Jadual 1.1 Simulasi Dron *Guardian Angel*.

Parameter	Nilai Simulasi	Nota
Jenis dron	<i>Quadcopter</i> keselamatan	Untuk rondaan kampus
Tempoh penerbangan maksimum	30 minit	Sesi penuh sebelum bateri kritikal
Tempoh operasi rondaan	20 minit	Anggaran untuk rondaan standard
Paras bateri mula mendarat	15%	Dron mendarat secara automatik apabila bateri rendah
Masa pendaratan automatik	30–45 saat	Bergantung kepada lokasi dan cuaca
Masa pengecasan penuh	120 minit	Menggunakan dok pengecas automatik
Bilangan rondaan	2 jam sekali	Setiap rondaan \pm 20 minit
Ketinggian penerbangan	10–30 meter	Liputan optimum kawasan

		kampus
Jarak maksimum operasi	2 kilometer	Dari pusat kawalan / docking station
Mod pendaratan	Automatik & manual	Bergantung situasi atau kecemasan

Berdasarkan **Jadual 1.1**, dron *Guardian Angel* direka sebagai sebuah *quadcopter* keselamatan khusus untuk tujuan rondaan kampus. Dron ini mempunyai tempoh penerbangan maksimum selama 30 minit, dengan anggaran 20 minit digunakan bagi setiap sesi rondaan standard sebelum paras bateri mencapai tahap kritikal. Sistem pengurusan tenaga pintar membolehkan dron mendarat secara automatik apabila paras bateri menurun ke tahap 15%, bagi mengelakkan risiko kehabisan kuasa semasa operasi. Proses pendaratan automatik ini mengambil masa sekitar 30 hingga 45 saat, bergantung kepada faktor lokasi dan keadaan cuaca. Setelah mendarat, dron akan dicas sepenuhnya melalui dok pengecas automatik dalam tempoh kira-kira 120 minit, membolehkan operasi disambung semula secara berjadual. Dari segi kekerapan rondaan, dron ini mampu menjalankan sehingga satu sesi rondaan bagi setiap dua jam, dengan setiap rondaan mengambil masa sekitar lebih kurang 20 minit. Ketinggian penerbangan dianggarkan antara 10 hingga 30 meter bagi memastikan liputan kawasan kampus yang optimum, manakala jarak operasi maksimum sehingga 2 kilometer dari pusat kawalan atau stesen dok membolehkan pemantauan kawasan yang lebih luas. Selain itu, dron ini menyokong mod pendaratan automatik dan manual, yang boleh dipilih bergantung kepada situasi operasi atau keadaan kecemasan, sekali gus meningkatkan fleksibiliti dan tahap keselamatan penggunaan sistem.

Jadual 1.2 Kos Pelaksanaan Dron Inovasi *Guardian Angel*.

KOMPONEN	KOS (RM)
Dron Syma X5SW Explorers 2	68.40
GPS Module NEO-6M	50.00
5MP Night Vision Camera	58.50
MQ2 Smoke LPG CO Sensor Module	7.50
Speaker 8R 1W	2.50
IR Infrared Sensor Obstacle Avoidance Module	5.00
ESP32 Cam	32.70
JUMLAH	224.60

Jadual 1.2 menunjukkan kos pelaksanaan bagi pembangunan dron inovasi *Guardian Angel* yang merangkumi komponen utama perkakasan dan sensor yang diperlukan untuk menyokong fungsi rondaan keselamatan pintar. Dron asas Syma X5SW Explorers 2 dipilih sebagai platform penerbangan dengan kos RM68.40 kerana ia stabil dan sesuai untuk tujuan *Proof of Concept* (POC). Modul GPS NEO-6M berharga RM50.00 digunakan bagi membolehkan fungsi navigasi, penjejakan lokasi dan penerbangan automatik. Bagi tujuan pemantauan pada waktu malam, kamera Night Vision 5MP digunakan dengan kos RM58.50 untuk memastikan pengesanan visual masih berkesan dalam keadaan cahaya rendah. Selain itu, sensor gas MQ2 berharga RM7.50 digunakan untuk mengesan asap dan gas berbahaya seperti LPG dan karbon monoksida sebagai langkah keselamatan tambahan. Komponen komunikasi seperti pembesar suara 8Ω 1W dengan kos RM2.50 membolehkan amaran suara atau komunikasi asas dijalankan, manakala sensor inframerah pengelak halangan (*IR obstacle*) berharga RM5.00 membantu mengelakkan pelanggaran semasa penerbangan. Modul utama pemprosesan dan penghantaran video, iaitu ESP32-CAM, digunakan dengan kos RM32.70 untuk menyokong fungsi penstriman video masa nyata dan integrasi sistem AI. Secara keseluruhan, jumlah kos pelaksanaan sistem ini adalah

RM224.60, yang menunjukkan bahawa pembangunan prototaip Guardian Angel adalah berkos rendah, praktikal dan sesuai untuk tujuan demonstrasi serta pembangunan lanjut pada skala komersial.

2.3 LAKARAN *GUARDIAN ANGEL*

Reka bentuk luaran dron *Guardian Angel* divisualkan dalam bentuk lakaran tangan (*hand-drawn*) yang ringkas namun bersifat teknikal bagi menggambarkan struktur asas serta susun atur keseluruhan komponen sistem (**Rajah 1.6**). Dron ini menggunakan kerangka *quadcopter* yang stabil dengan empat motor dan kipas yang dipasang secara simetri pada setiap penjuru rangka bagi memastikanimbangan penerbangan yang optimum. Lakaran turut menunjukkan kaki pendaratan yang tinggi yang direka untuk melindungi komponen-komponen penting di bahagian bawah dron seperti modul kamera dan sensor, selain mengurangkan risiko kerosakan semasa proses pendaratan.



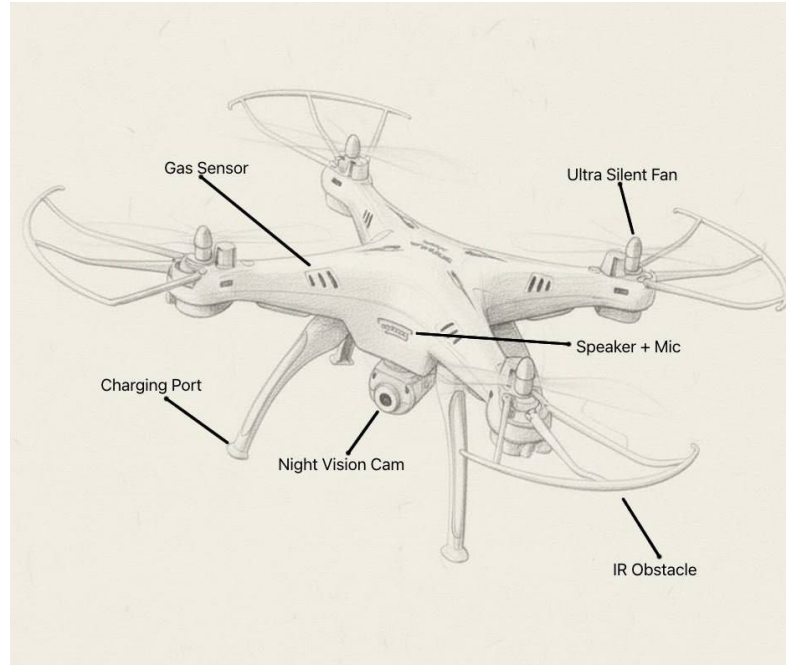
Rajah 1.6 Lakaran asal dron *Guardian Angel*.

Sebagai komponen utama sistem pengesanan visual, modul ESP32-CAM dipasang secara terus pada bahagian bawah badan dron dan berfungsi sebagai kamera tunggal bagi sistem *Guardian Angel*. Modul ini bukan sahaja berperanan merakam dan menghantar video secara masa

nyata, malah menyokong pemrosesan awal imej sebelum dihantar ke pusat pemrosesan AI. Kedudukannya yang menghadap ke bawah membolehkan sudut pandang yang luas untuk pemantauan kawasan rondaan. Di samping itu, lakaran turut menunjukkan kedudukan sensor halangan inframerah (*IR obstacle sensor*) di bahagian hadapan dron bagi membantu pengesanan dan pengelakan halangan semasa penerbangan, serta sensor gas yang dipasang berhampiran badan dron untuk tujuan pengesanan kebocoran gas atau bahan berbahaya.

Bagi menyokong operasi penerbangan automatik, modul GPS diintegrasikan pada bahagian atas badan dron bagi mendapatkan isyarat satelit yang lebih jelas, manakala antenna komunikasi WiFi atau 4G LTE diposisikan secara strategik untuk memastikan sambungan data yang stabil semasa operasi rondaan jarak jauh. Lakaran juga menunjukkan komponen speaker dan mikrofon yang dipasang pada badan dron bagi membolehkan komunikasi dua hala antara pengawal keselamatan dan individu di kawasan rondaan. Dari segi sistem kuasa, dron ini dilengkapi dengan bateri pintar (*smart battery*) yang dipasang di bahagian tengah rangka untuk memastikan keseimbangan berat serta menyokong tempoh penerbangan yang lebih lama.

Selain itu, reka bentuk lakaran turut mengambil kira aspek kebisingan dan operasi berterusan, di mana penggunaan kipas ultra senyap (*ultra silent fan*) dicadangkan bagi mengurangkan bunyi semasa penerbangan. Konsep dok pengecasan automatik, seumpama robot vakum pintar, turut ditunjukkan sebagai komponen sokongan di darat yang membolehkan dron kembali mengecas secara sendiri selepas selesai rondaan atau apabila tahap bateri rendah (**Rajah 1.7**). Secara keseluruhannya, lakaran reka bentuk ini memberikan gambaran menyeluruh terhadap susun atur fizikal dan integrasi semua komponen utama sistem *Guardian Angel* sebelum pembangunan fizikal dan ujian sebenar dijalankan.



Rajah 1.7 Lakaran dron *Guardian Angel* berserta label setiap komponen.

2.4 PROSES PEMBANGUNAN

Projek *Guardian Angel* bermula dengan proses mengenal pasti isu keselamatan utama di kawasan kolej seperti kes buli, kebakaran dan aktiviti tidak bermoral yang memerlukan pemantauan berterusan dan lebih sistematik. Berdasarkan isu-isu ini, kajian rujukan dijalankan untuk memahami penggunaan teknologi dron dan sistem keselamatan sedia ada sebagai asas kepada pembangunan sistem rondaan keselamatan yang lebih berkesan. Seterusnya, pemilihan komponen utama dilakukan melibatkan rangka dron, motor, bateri, flight controller serta modul ESP32-CAM, di samping perancangan integrasi ciri-ciri pintar seperti *AI Vision* dan *Machine Learning*, GPS untuk penerbangan automatik, kamera *night vision*, sambungan 4G LTE, sensor halangan inframerah (*IR obstacle*), sensor gas, pembesar suara dan mikrofon, kipas ultra senyap, dok pengecasan automatik serta bateri pintar bagi menyokong tempoh penerbangan yang lebih lama.

Setelah pemilihan komponen, modul ESP32-CAM dipasang pada rangka dron dan *firmware* dikonfigurasi bagi membolehkan penghantaran rakaman video secara masa nyata ke komputer riba melalui sambungan tanpa wayar atau rangkaian 4G LTE. Pada peringkat ini, proses pengaturcaraan sistem *AI Vision* dibangunkan menggunakan bahasa pengaturcaraan *Python*

dengan sokongan pustaka *OpenCV* (**Rajah 1.8**) dan *YOLOv8* (**Rajah 1.9**), di mana *OpenCV* digunakan untuk pemprosesan imej dan video secara masa nyata seperti penapisan bingkai, penukaran warna dan pengekstrakan ciri, manakala *YOLOv8* diaplikasikan sebagai algoritma pengesanan objek berasaskan pembelajaran mendalam bagi mengenal pasti kehadiran manusia dan pergerakan mencurigakan dengan pantas dan tepat (Bradski, 2000; Jocher et al., 2023). Keseluruhan kod dibangunkan dan diuji menggunakan *PyCharm* (**Rajah 2.0**), sebuah persekitaran pembangunan bersepadu (IDE) yang menyokong pengurusan projek *Python*, integrasi pustaka, serta kemudahan *debugging* dan visualisasi kod (**Rajah 2.1**), sekali gus mempercepatkan proses pembangunan dan penyelenggaraan perisian (Agarwal, 2022). Sistem kawalan penerbangan kemudiannya diintegrasikan dengan modul komunikasi, kamera, sensor serta modul GPS bagi memastikan operasi dron berjalan dengan stabil, selamat dan autonomi. Rakaman video yang diterima akan diproses oleh sistem *AI Vision* pada komputer riba untuk mengesan kehadiran manusia, pergerakan luar biasa atau aktiviti mencurigakan. Sekiranya pengesanan berlaku, sistem akan mengeluarkan amaran kepada pengawal keselamatan, termasuk sokongan komunikasi dua hala melalui pembesar suara dan mikrofon bagi tujuan amaran suara.



Rajah 1.8 Library OpenCV dalam perisian PyCharm



Rajah 1.9 *Library YOLOv8 dalam perisian PyCharm*

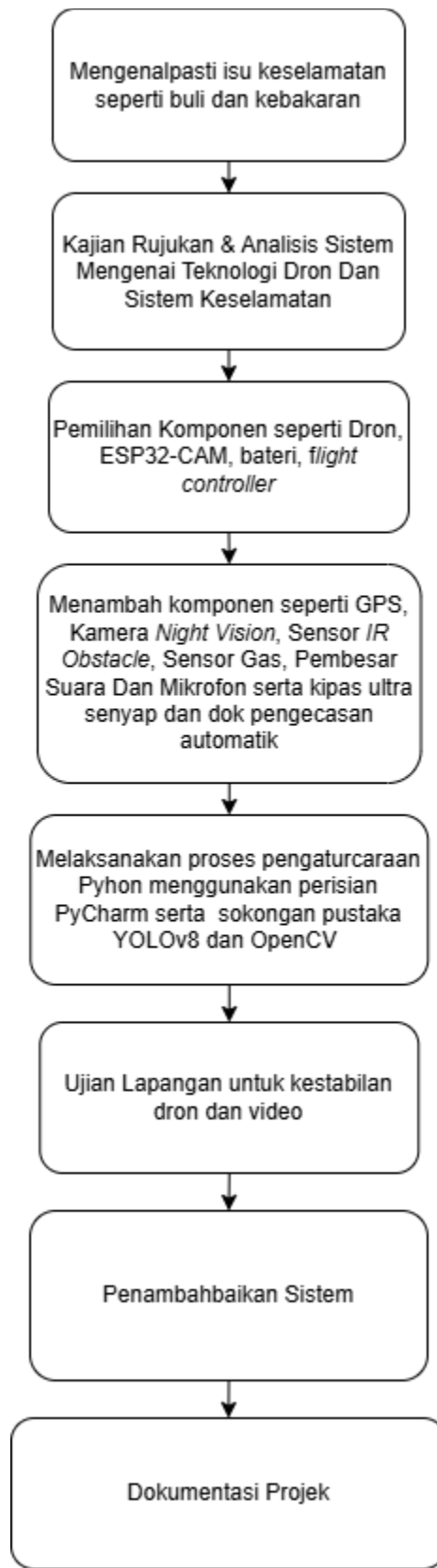


Rajah 2.0 *Perisian PyCharm untuk menulis kod aturcara Python*

```
Welcome to PyCharm script.py x
1 from ultralytics import YOLO
2 import cv2
3 import time
4 import random
5
6 # =====
7 # Inisialisasi sistem dron
8 # =====
9 # Load model YOLOv8 untuk AI Vision
10 model = YOLO("yolov8n.pt") # model kecil & pantas
11
12 # Simulasi kamera
13 cap = cv2.VideoCapture(0) # gunakan kamera utama
14
15 # Simulasi GPS & sensor
16 GPS_location = {"lat": 3.1409, "lon": 101.6869} # Contoh koordinat kampus
17 battery_level = 100 # peratus
18 gas_detected = False
19 obstacle_detected = False
20
21 # Simulasi komunikasi suara
22 def speak(message): 5 usages
23     print(f"[Pembesar Suara]: {message}")
24
25 # =====
26 # Fungsi untuk pengesanan AI
27 # =====
```

Rajah 2.1 Visualisasi Kod Aturcara Ringkas Untuk Sistem Dron *Guardian Angel*

Ujian lapangan dijalankan untuk menilai kestabilan penerbangan dron, keberkesanan sistem pengesanan AI, kualiti rakaman video siang dan malam, serta keupayaan sistem mengelakkan halangan menggunakan sensor inframerah. Ujian juga melibatkan pemantauan tahap bateri pintar dan keupayaan dron kembali ke dok pengecasan automatik apabila bateri berada pada tahap rendah. Berdasarkan keputusan ujian, penambahbaikan dilakukan dari aspek kestabilan penerbangan, pengurusan tenaga, kecekapan penghantaran data dan ketepatan pengesanan. Akhir sekali, dokumentasi projek lengkap disediakan merangkumi reka bentuk sistem, rajah aliran, keputusan ujian, demonstrasi ringkas sistem serta cadangan penambahbaikan pada masa hadapan, termasuk penggunaan kipas ultra senyap dan penambahbaikan integrasi sensor bagi operasi rondaan yang lebih efisien (**Rajah 2.2**).



Rajah 2.2 Pelaksanaan Ujian Lapangan dan Penilaian Prestasi Dron *Guardian Angel*.

3.0 HASIL DAN PERBINCANGAN

3.1 PENCAPAIAN

Projek *Guardian Angel* telah berjaya membangunkan satu prototaip sistem dron rondaan keselamatan yang berfungsi dengan baik di KMJ serta memenuhi objektif inovasi yang telah ditetapkan. Prototaip dron ini mampu terbang secara stabil di kawasan kolej dan melaksanakan rondaan keselamatan secara autonomi. Pencapaian ini adalah selari dengan penyelidikan oleh Gaber dan Rashid (2011) yang menyatakan bahawa teknologi dron semakin mendapat perhatian di peringkat global, khususnya dalam bidang keselamatan dan pengawasan. Kajian tersebut membincangkan pembangunan dron autonomi berasaskan *Internet of Things (IoT)* bagi meningkatkan keselamatan kampus selaras dengan penerapan teknologi Revolusi Industri 4.0. Dron yang dibangunkan dalam kajian tersebut mempunyai keupayaan pengawasan udara secara autonomi, penstriman video secara langsung, pengelakan halangan serta komunikasi dengan sistem keselamatan kampus berasaskan IoT. Dapatan kajian terdahulu menunjukkan prestasi dron yang stabil dan berkesan, seterusnya menyokong pembangunan prototaip *Guardian Angel* sebagai satu pendekatan berpotensi dalam sistem rondaan keselamatan kampus.

Seterusnya, kamera ESP32-CAM berjaya menghantar imej dan rakaman video secara masa nyata ke komputer riba pengawal keselamatan melalui sambungan WiFi dan 4G LTE, sekali gus membolehkan pemantauan jarak jauh dilaksanakan dengan berkesan (**Rajah 2.3**). Hal ini selari dengan kajian oleh Azlan dan Zainal (2024), yang menyatakan bahawa sistem keselamatan berasaskan penstriman langsung membolehkan pengguna memantau kawasan secara masa nyata serta menerima notifikasi amaran apabila pergerakan mencurigakan dikesan, sekali gus meningkatkan kecekapan dan keberkesanan sistem keselamatan.

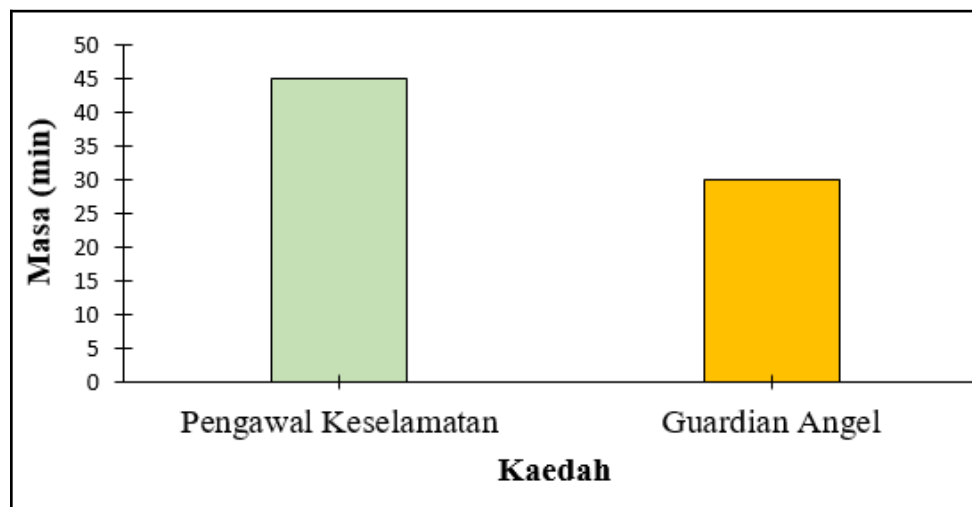


Rajah 2.3 Rajah menunjukkan dron membuat pemantauan secara jarak jauh.

Penggunaan dron ini membolehkan rondaan keselamatan dijalankan secara lebih menyeluruh, khususnya di kawasan yang sukar dicapai oleh pengawal keselamatan seperti laluan belakang bangunan asrama, kawasan parkir, perimeter kampus, kawasan sunyi di sekitar kolej kediaman lelaki dan perempuan, serta laluan pejalan kaki yang kurang pencahayaan. Sistem ini turut berfungsi dengan baik pada waktu siang dan malam melalui penggunaan kamera *night vision* dan sokongan sensor tambahan. Secara keseluruhannya, projek ini membuktikan potensi gabungan teknologi dron, ESP32-CAM dan sistem AI Vision dalam meningkatkan tahap keselamatan kolej serta mengurangkan kebergantungan kepada rondaan fizikal sepenuhnya.

Dalam konteks keselamatan kampus, penggunaan dron menawarkan kelebihan yang signifikan kerana ia mampu beroperasi secara berterusan selama beberapa jam bergantung kepada kapasiti bateri pintar yang digunakan. Keupayaan ini membolehkan pemantauan berterusan sehingga 24 jam, khususnya bagi kawasan kritikal seperti kawasan terpencil, laluan sunyi, dan lokasi yang sering dilaporkan berlaku insiden keselamatan. Berbanding pengawal keselamatan manusia yang terhad oleh faktor keletihan, jadual syif, dan keperluan rehat, dron berfungsi sebagai sokongan yang berkesan dalam meningkatkan tahap pemantauan keselamatan (Hoang et al., 2023). Secara amnya, seorang pengawal keselamatan hanya mampu melaksanakan rondaan secara efektif

selama kira-kira 8 jam sehari. Dengan penggunaan dron, kawasan kritikal seperti bangunan utama, kawasan parkir, dan laluan sunyi dapat dipantau 3 hingga 4 kali lebih kerap berbanding kaedah rondaan manual konvensional. **Rajah 2.4** menunjukkan perbandingan kecekapan masa rondaan di KMJ, di mana penggunaan dron terbukti lebih efisien dengan hanya mengambil masa 30 minit berbanding 45 minit melalui kaedah konvensional oleh pengawal keselamatan. Penjimatan masa sebanyak 33.3% ini membuktikan bahawa inovasi dron mampu mempercepatkan proses pemantauan kawasan yang luas di KMJ iaitu seluas 56 ekar, sekali gus membolehkan respons kecemasan dilakukan dengan lebih pantas serta meningkatkan kekerapan rondaan tanpa menambah beban fizikal kepada anggota keselamatan.



Rajah 2.4 Rajah menunjukkan jumlah masa yang diambil Guardian Angel dan pengawal keselamatan untuk meronda seluruh kawasan kolej.

Secara keseluruhan, projek ini membuktikan potensi gabungan teknologi dron, ESP32-CAM, *night vision* dan sistem *AI Vision* dalam meningkatkan tahap keselamatan kolej. Ia bukan sahaja mengurangkan kebergantungan kepada rondaan fizikal sepenuhnya, tetapi juga meningkatkan efisiensi dan responsiviti sistem keselamatan, serta membolehkan pengawal fokus pada tindakan susulan atau intervensi segera apabila insiden dikesan (Zhang et al., 2020).

3.2 DEMO RINGKAS/ UJIAN AWAL

Dalam ujian awal, dron *Guardian Angel* yang dilengkapi kamera ESP32-CAM telah diterbangkan di sekitar kawasan kolej bagi menjalankan rondaan asas. Dron berjaya menghantar imej dan video secara masa nyata ke komputer riba pengawal keselamatan melalui sambungan WiFi. Sepanjang ujian, dron dapat memantau kawasan terbuka seperti padang, laluan pejalan kaki, kawasan parkir serta persekitaran bangunan asrama, di samping merakam kehadiran dan pergerakan pelajar di lokasi tersebut (**Rajah 2.5**).



Rajah 2.5 Rajah menunjukkan dron membuat pemantauan secara jarak jauh.

Ujian ini membuktikan bahawa sistem rondaan berasaskan dron mampu beroperasi dengan stabil serta memberikan liputan kawasan yang lebih luas berbanding rondaan manual. Keupayaan pemantauan dari udara membolehkan pengesanan awal aktiviti mencurigakan dilakukan dengan lebih cepat, sekali gus meningkatkan potensi pencegahan insiden keselamatan di kawasan kolej.

3.4 KELEBIHAN INOVASI

Kelebihan utama inovasi dron rondaan keselamatan *Guardian Angel* terserlah melalui integrasi teknologi *AI Vision* dengan sistem kamera ESP32-CAM. Melalui penggunaan kecerdasan buatan, dron bukan sahaja berfungsi sebagai alat rakaman, malah mampu melakukan analisis automatik seperti pengesanan kehadiran manusia, pergerakan luar biasa, pencerobohan kawasan larangan dan potensi tingkah laku mencurigakan (Sulaiman et al., 2025).

Apabila sistem AI mengesan aktiviti yang mencurigakan, amaran awal akan dihantar kepada pengawal keselamatan dalam bentuk notifikasi visual pada skrin komputer riba, paparan kotak pengesanan (*bounding box*) serta penggera bunyi. Selain itu, dron juga boleh mengeluarkan amaran suara secara langsung melalui speaker terbina bagi memberi peringatan awal di lokasi kejadian. Mekanisme ini membolehkan tindakan segera diambil sebelum sesuatu insiden menjadi lebih serius.

Tanpa bantuan sistem AI dan dron pemantau, pengawal keselamatan bergantung sepenuhnya kepada pemerhatian manual yang berisiko tinggi terhadap kesilapan manusia seperti terlepas pandang pergerakan mencurigakan, kelewatan mengesan kejadian di kawasan sunyi, keletihan akibat rondaan berpanjangan serta kekangan penglihatan pada waktu malam. Gabungan dron dan *AI Vision* ini mengurangkan risiko kecuaiian tersebut dan menjadikan sistem keselamatan kolej lebih pintar, responsif dan selari dengan perkembangan teknologi moden (Arief Hakim et al., 2024).

3.5 KEKANGAN/ LIMITASI

Walaupun projek ini menunjukkan keberkesanan penggunaan dron sebagai sistem rondaan keselamatan, beberapa kekangan masih dikenal pasti. Antaranya ialah jangka hayat bateri yang terhad, yang menyebabkan tempoh operasi dron menjadi singkat dan memerlukan pengecasan yang kerap. Prestasi dron turut dipengaruhi oleh faktor persekitaran seperti hujan, angin kencang dan kabus yang boleh menjejaskan kestabilan penerbangan serta kualiti rakaman.

Selain itu, kamera ESP32-CAM mempunyai had dari segi resolusi imej dan prestasi dalam keadaan pencahayaan rendah, menjadikan pemantauan waktu malam kurang optimum tanpa sokongan tambahan seperti lampu atau sensor inframerah. Dari aspek penyelenggaraan, kos

pembaikan dan penggantian komponen perlu diambil kira kerana dron mudah mengalami kerosakan akibat penggunaan berulang atau kemalangan kecil. Dron juga memerlukan pengendali yang terlatih bagi mengurangkan risiko kegagalan operasi. Di samping itu, isu keselamatan data dan privasi pelajar perlu diberi perhatian melalui penetapan garis panduan penggunaan dan zon penerbangan yang jelas.

4.0 IMPAK DAN POTENSI MASA DEPAN

4.1 KEGUNAAN PRAKTIKAL

Dron rondaan keselamatan *Guardian Angel* membolehkan pengawal kolej menjalankan rondaan keselamatan dengan lebih efisien, pantas dan menyeluruh, termasuk di kawasan yang sukar dicapai seperti laluan sunyi, kawasan asrama dan perimeter bangunan kampus (Hoang, 2023; Mehar, Singh, & Patel, 2025). Dengan dilengkapi modul ESP32-CAM, kamera termal, *AI Vision*, GPS, pengesanan gas, pembesar suara dan sistem penggera, dron ini berupaya menghantar imej serta video secara masa nyata kepada pusat kawalan untuk tujuan pemantauan berterusan. Kajian terdahulu turut menunjukkan bahawa penggunaan dron yang digabungkan dengan sensor dan teknologi kecerdasan buatan mampu meningkatkan keberkesanan pemantauan keselamatan serta menyokong pengesanan awal aktiviti mencurigakan secara automatik (Systematic Review on Civilian Drones in Safety and Security Applications, 2023).

Melalui pemantauan udara, sistem ini membolehkan pengesanan awal insiden seperti kes buli, kecurian, kebakaran, pencerobohan dan aktiviti mencurigakan, sekali gus mempercepatkan tindakan pencegahan dan penyelamatan sebelum keadaan menjadi lebih serius (Rathinakumar & Ntantia, 2024; Mohd & Rozman, 2026). Selain itu, penggunaan dron dalam rondaan keselamatan juga terbukti mampu meningkatkan liputan kawasan, mengurangkan kebergantungan kepada rondaan manual serta menjadikan sistem keselamatan lebih responsif, pintar dan berkesan, selaras dengan amalan pengurusan keselamatan moden yang menekankan pemantauan masa nyata dan automasi (A Study of Various Drone-Based Surveillance System, 2024; Elevating Campus Security, 2025).

4.2 SARANAN PENAMBAHBAIKAN

Ketahanan dan prestasi dron *Guardian Angel* boleh dipertingkatkan melalui beberapa langkah strategik. Penggunaan bateri berkapasiti tinggi dan *smart battery* dapat memanjangkan tempoh operasi serta memastikan pengurusan tenaga yang lebih cekap. Pemasangan gimbal bersaiz kecil pada modul ESP32-CAM membolehkan rakaman video yang lebih stabil walaupun semasa dron bergerak, sekali gus meningkatkan ketepatan sistem *AI Vision*. Tambahan pula, perlindungan kalis air, sensor cuaca, dan *propeller aerodynamic* dapat meningkatkan tahap keselamatan serta prestasi penerbangan, terutamanya dalam pelbagai kondisi cuaca. Penggunaan *ultra silent fan* membolehkan rondaan dijalankan secara senyap tanpa mengganggu persekitaran, manakala *dock charging* memudahkan pengecasan automatik dan berjadual bagi menyokong operasi berterusan. Dari segi kos dan penyelenggaraan, pemilihan komponen yang tahan lama serta pelaksanaan jadual penyelenggaraan berkala dapat mengurangkan risiko kerosakan serius dan mengekalkan prestasi optimum. Aspek keselamatan dan privasi juga dapat diperkukuh dengan menetapkan zon penerbangan yang jelas serta mengintegrasikan sistem kecemasan automatik dan penggera, bagi meminimumkan risiko kecederaan serta mengelakkan gangguan terhadap privasi pelajar dan warga kampus.

Secara keseluruhannya, inovasi ini bukan sahaja meningkatkan tahap keselamatan pelajar, tetapi juga memperkenalkan penggunaan teknologi pintar sebagai amalan terbaik dalam pengurusan keselamatan kampus (Hoang, 2023; Adama et al., 2025; Khashush, 2025).

4.3 POTENSI UNTUK PENGKOMERSILAN ATAU PROJEK LANJUTAN

Potensi pengkomersialan inovasi dron rondaan keselamatan *Guardian Angel* adalah sangat besar kerana sistem ini boleh ditawarkan sebagai penyelesaian keselamatan pintar kepada institusi pendidikan, kawasan perumahan dan syarikat swasta. Sebagai contoh, di Sarawak terdapat pelbagai isu keselamatan telah dilaporkan melalui berita dan media dalam talian, termasuk kes kecurian, vandalisme serta kejadian buli dan ancaman keselamatan dalam kalangan pelajar di sekolah dan institusi pendidikan, yang menimbulkan kebimbangan terhadap keselamatan warga kampus (The Sun Malaysia, 2026; Sarawak Tribune, 2025). Insiden seperti ini menunjukkan keperluan kepada sistem pemantauan yang lebih proaktif bagi mencegah kejadian tidak diingini sebelum ia menjadi lebih serius.

Dengan keupayaan rondaan automatik, penghantaran imej secara masa nyata serta integrasi teknologi *AI Vision*, *Guardian Angel* berpotensi membantu pihak pengurusan kampus memantau kawasan berisiko seperti asrama pelajar, laluan sunyi, kawasan parkir dan perimeter bangunan dengan lebih berkesan. Kehadiran sistem rondaan berasaskan dron ini bukan sahaja dapat bertindak sebagai langkah pencegahan awal terhadap aktiviti buli dan pencerobohan, malah mampu meningkatkan rasa selamat dalam kalangan pelajar dan kakitangan. Nilai tambah seperti liputan kawasan yang lebih luas, respons yang lebih pantas serta kos operasi jangka panjang yang lebih rendah menjadikan *Guardian Angel* satu produk yang berdaya saing dan relevan dengan keperluan semasa.

Selain itu, *Guardian Angel* mempunyai potensi besar untuk dikomersialkan secara meluas ke semua kolej matrikulasi dan institusi pendidikan tinggi di Malaysia, termasuk universiti awam, universiti swasta dan kolej komuniti yang mempunyai kawasan kampus yang luas serta populasi pelajar yang ramai. Pelaksanaan sistem rondaan berasaskan dron ini dapat disesuaikan mengikut keperluan dan saiz kampus, menjadikannya satu penyelesaian keselamatan yang fleksibel dan berskala. Di samping itu, *Guardian Angel* juga berpotensi dikembangkan sebagai pakej perkhidmatan keselamatan yang menyeluruh, merangkumi penyewaan dron, latihan pengendali dan sokongan teknikal berterusan. Pendekatan ini amat sesuai untuk institusi pendidikan yang memerlukan sistem keselamatan moden, cekap dan berasaskan teknologi bagi memastikan persekitaran kampus yang lebih selamat, terkawal dan responsif terhadap sebarang ancaman keselamatan.

5.0 KESIMPULAN

Kesimpulannya, inovasi dron rondaan keselamatan ini mempunyai potensi yang besar dalam meningkatkan tahap keselamatan kampus melalui pelaksanaan rondaan automatik dan pemantauan secara masa nyata, sekali gus mengurangkan kebergantungan kepada rondaan manual. Walau bagaimanapun, beberapa limitasi masih perlu diberi perhatian, antaranya jangka hayat bateri yang terhad, prestasi kamera yang dipengaruhi oleh keadaan cuaca, kos penyelenggaraan yang tinggi serta keperluan latihan pengendali yang mencukupi. Selain itu, aspek keselamatan dan privasi juga amat penting bagi memastikan penggunaan dron tidak mengganggu pelajar atau menimbulkan risiko kecederaan. Dengan penambahbaikan berterusan dari segi teknologi bateri,

perlindungan cuaca, sistem kamera, pengurusan kos operasi dan latihan pengguna, dron ini berupaya berfungsi dengan lebih efisien serta tahan lasak. Oleh itu, inovasi ini bukan sahaja berpotensi untuk dikomersialkan sebagai sistem keselamatan pintar yang relevan kepada kolej matrikulasi, institusi pendidikan, komuniti perumahan dan syarikat swasta, malah menjadi satu langkah strategik ke arah pembangunan sistem keselamatan moden yang mampan dan berdaya saing dalam jangka panjang. Maka, prototaip *Guardian Angel* ini menepati tema “Dron sebagai Pemangkin Transformasi Kampus Matrikulasi Pintar” serta menjadi pemacu kepada transformasi KMJ ke arah kampus pintar yang selamat, cekap dan berdaya saing.

6.0 RUJUKAN

A Study of various drone-based surveillance systems. (2024). *International Journal of Advanced Research in Modern Technology*, 4(2), 33–40.

Adama, A. N., Nurjaman, A. I., Faariz, N. H., Ariateja, D., & Sunarta, S. (2025). Integration of gas and dust detection sensors with human detection on drones for smart campus surveillance patrols. *Jurnal Mandiri IT*, 14(1), 1–15. <https://www.ejournal.isha.or.id/index.php/Mandiri/article/view/421>

Adama, O., Bello, M., & Yusuf, A. (2025). Interactive drone surveillance systems for smart campus security. *Journal of Smart Technologies*, 10(1), 25–34.

Agarwal, A. (2022). Evaluating integrated development environments for Python in machine learning projects. *International Journal of Computer Applications*, 184(5), 17–24.

Al-Saedi, M., Al-Hilo, A., & Al-Raweshidy, H. (2016). GPS-based navigation system for autonomous unmanned aerial vehicles. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 13(3), 1–10.

Arief Hakim, N. F., Ismail, A., Kustiawan, I., Rosanti, D., & Zaidan, T. Y. (2024). Designing and implementing real-time deep learning object detection in unmanned aerial vehicles. *IIUM Engineering Journal*. <https://doi.org/10.31436/iiumej.v26i3.3433>

Azlan, M. U., & Zainal, M. S. (2024). An IoT-based home security system with ESP32, video monitoring, and Blynk integration. *Enhanced Knowledge in Sciences and Technology (EKST)*, 5(1), 238–244. <https://penerbit.uthm.edu.my/periodicals/index.php/peat/article/view/14681>

Bahagian Keselamatan UPSI. (2026). *Polis bantuan UPSI berjaya menangkap suspek kes kecurian alat muzik di Dewan Tuanku Canselor*. <https://keselamatan.upsi.edu.my/polis->

[bantuan-upsi-berjaya-menangkap-suspek-kes-kecurian-alat-muzik-di-dewan-tuanku-canselor/](#)

- Balshetwar, S. V., Rane, G., Lohar, S., Pawar, K., & Katkar, R. (n.d.). Smart surveillance system using ESP32 CAM. *Journal of Cyber Security, Privacy Issues and Challenges*. <https://matjournals.net/engineering/index.php/JCSPIC/article/view/683>
- Beijing TT Aviation Technology Co., Ltd. (2025). *Campus safety UAV solution with AI and automated patrol platform*. TT Aviation Technology. <https://www.ttaviation.org/pro/tta-campus-management/>
- Bradski, G. (2000). The OpenCV library. *Dr. Dobb's Journal of Software Tools*.
- Chen, X., Wang, Y., & Liu, Z. (2020). Obstacle avoidance techniques for UAV navigation using infrared sensors. *IEEE Access*, 8, 123456–123465.
- Elevating campus security: The transformative capabilities of drones. (2025). *Security Technology Review*, 11(1), 10–18.
- Gaber, A. M., Rashid, R. A., Nasir, N., Abdul Rahim, R., Sarijari, M. A., Abdullah, A. S., & Ali, S. (2021). Development of an autonomous IoT-based drone for campus security. *ELEKTRIKA – Journal of Electrical Engineering*, 20(2-2), 70–76. https://elektrika.utm.my/index.php/ELEKTRIKA_Journal/article/view/295
- Hoang, M. L. (2023). Smart drone surveillance system based on AI and IoT communication in case of intrusion and fire accident. *Drones*, 7(12), 694. <https://doi.org/10.3390/drones7120694>
- Hoang, T. L. (2023). Application of unmanned aerial vehicles (UAVs) in security surveillance and monitoring. *Journal of Security Technology*, 8(2), 45–53.
- Jocher, G., Chaurasia, A., & Qiu, J. (2023). *YOLOv8 by Ultralytics*. Ultralytics. <https://github.com/ultralytics/ultralytics>
- Journal of Emerging Technologies and Innovative Research. (2023). PyCharm—Integrated development environment (IDE) for Python programming. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 10(6).
- Kementerian Sains, Teknologi dan Inovasi. (2020). *Revolusi Industri Keempat (IR 4.0)*.
- Khashush, N. A. (2025). A review of smart drone technologies for security surveillance and search and rescue. *Journal of Al Qadisiyah for Computer Science and Mathematics*, 17, 45–62. <https://jqcsm.qu.edu.iq/index.php/journalcm/article/view/2549>

- Kumar, A., & Singh, D. (2019). Gas leakage detection and monitoring system using IoT sensors. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 8(6), 112–117.
- Malaya Newsroom. (2025, February 7). *Revolusi IR4.0 pemangkin kemajuan ekonomi Malaysia*. <https://malayanewsroom.com/07/02/2025/revolusi-ir4-0-pemangkin-kemajuan-ekonomi-malaysia/>
- Mori, Y., Tiiri, E., Khanal, P., Khakurel, J., Mishina, K., & Sourander, A. (2021). Feeling unsafe at school and associated mental health difficulties among children and adolescents: A systematic review. *Children*, 8(3), 232. <https://doi.org/10.3390/children8030232>
- Park, J., Kim, S., & Lee, H. (2022). Autonomous docking and charging systems for unmanned aerial vehicles. *Robotics and Autonomous Systems*, 150, 103981.
- Rahman, M., Saad, N., & Yani, F. (2024). Penggunaan pembelajaran mendalam untuk pengesanan awal kebakaran menggunakan imej UAV. *Jurnal Kecerdasan Buatan Malaysia*, 5(1), 22–35.
- Sulaiman, M. N., Muhammad Razif, M. R., Che Hassan, C. A. Z., Mohd Mustapha, N. H., Shahriful Azhar, S. W., & Azman, M. N. (2025). Wireless surveillance with human detection using artificial intelligence and drone. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, 17(3), 51–58. <https://doi.org/10.54554/jtec.2025.17.03.007>
- von der Linde, M., Herbster, C., Dobel, C., Festag, S., & Thielsch, M. T. (2023). Creating safe environments: Optimal acoustic alarming of laypeople in fire prevention. *Ergonomics*, 66(12), 2193–2211.
- Zhang, C., Kovacs, J. M., & Flores-Verdugo, F. (2020). Applications of unmanned aerial systems (UAS) in security and surveillance: A review. *Remote Sensing*, 12(6), 971. <https://doi.org/10.3390/rs12060971>
- Zhao, Y., Li, X., & Zhang, H. (2022). Human detection using thermal imaging for night-time surveillance applications. *Sensors*, 22(9), 3456.