

Peningkatan Literasi Stem Digital Natives Melalui Simulasi Eksperimen Drone Modular Berbasis Project-Based Learning

Muhammad Yusril Helmi Setyawan^{1*}, Virdiandry Putratama², Patah Herwanto³

¹D4 Teknik Informatika, Sekolah Teknologi Informasi, Universitas Logistik & Bisnis Internasional

²D3 Manajemen Informatika, Sekolah Teknologi Informasi, Universitas Logistik & Bisnis Internasional

³Bisnis Digital, Fakultas Infokom, Universitas Ekuitas Indonesia

Email:

yusrilhelmi@ulbi.ac.id

ABSTRAK

Pelatihan pembelajaran drone modular ini bertujuan untuk meningkatkan literasi STEM (Sains, Teknologi, Teknik, dan Matematika) di kalangan generasi digital di SMKN 1 Rancaekek melalui penerapan kerangka kerja pendidikan terintegrasi berbasis proyek. Program ini menekankan pendekatan experiential learning dengan menggabungkan pemahaman teoritis dan eksperimen praktis secara terpadu, sehingga peserta tidak hanya memahami konsep, tetapi juga mampu mengimplementasikannya secara nyata dalam bentuk kegiatan perakitan dan simulasi penerbangan. Peserta dilibatkan secara aktif dalam proses pembuatan drone modular menggunakan rangka F330, mikrokontroler Arduino Uno, sensor IMU MPU-6050, ESC 30A, motor brushless A2212 1000KV, baling-baling 8045, serta baterai Li-Po 3S 2200 mAh yang dikendalikan oleh firmware MultiWii. Melalui konfigurasi tersebut, peserta diajak untuk mengeksplorasi konsep-konsep penting seperti aerodinamika, propulsi, kontrol stabilitas, dan antarmuka elektronik dengan cara yang menarik, aplikatif, dan relevan dengan dunia industri teknologi. Pelaksanaan kegiatan terdiri atas tiga fase utama, yaitu pemaparan materi, praktik perakitan drone dari awal hingga berfungsi, dan evaluasi, yang dirancang untuk menumbuhkan kemampuan kognitif, psikomotorik, dan afektif secara seimbang. Selain itu, evaluasi dilakukan melalui penilaian pra-pasca pelatihan, rubrik proyek, lembar observasi, serta kuesioner kepuasan untuk mengukur pemahaman, kreativitas, dan kemampuan pemecahan masalah peserta dalam menerapkan prinsip-prinsip STEM melalui teknologi drone sebagai media pembelajaran inovatif di era digital.

Kata Kunci : STEM, Drone Modular, Experiential Learning, Arduino Uno, MPU-6050

ABSTRACT

This modular drone learning training aims to enhance STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) literacy among digital natives at SMKN 1 Rancaekek through the implementation of an integrated project-based educational framework. The program emphasizes an experiential learning approach by coherently combining theoretical understanding with practical experimentation, enabling participants not only to comprehend core concepts but also to implement them concretely through drone assembly and flight simulation activities. Participants were actively involved in the construction of modular drones using an F330 frame, an Arduino Uno microcontroller,

an MPU-6050 IMU sensor, 30A electronic speed controllers (ESCs), A2212 1000KV brushless motors, 8045 propellers, and a 3S 2200 mAh Li-Po battery, operated using MultiWii firmware. Through this configuration, participants explored essential concepts such as aerodynamics, propulsion, stability control, and electronic interfacing in an engaging, applied, and industry-relevant manner. The implementation of the program was structured into three main phases: instructional material delivery, hands-on drone assembly from initial setup to functional operation, and evaluation, all designed to foster balanced cognitive, psychomotor, and affective skill development. Furthermore, evaluation was conducted through pre- and post-training assessments, project-based rubrics, observation sheets, and participant satisfaction questionnaires to measure understanding, creativity, and problem-solving abilities in applying STEM principles through drone technology as an innovative learning medium in the digital era.

Keywords : STEM, Modular Drone, Experiential Learning, Arduino Uno, MPU-6050

PENDAHULUAN

Literasi STEM dipahami sebagai kemampuan memadukan sains, teknologi, teknik, dan matematika untuk memecahkan masalah nyata secara terukur. Pada pendidikan vokasi, literasi ini tidak berhenti pada “mampu menggunakan perangkat”, melainkan menuntut nalar ilmiah, berpikir komputasional, dan produksi karya yang dapat diuji. Bagi digital natives, kedekatan dengan gawai tidak otomatis berbanding lurus dengan kompetensi akademik (Mertala et al., 2024). Karena itu, dibutuhkan experiential learning agar pengetahuan konseptual bertransformasi menjadi keterampilan aplikatif (Cheng et al., 2024). Project-based learning (PjBL) relevan karena menyatukan teori-praktik, mendorong kolaborasi, serta menumbuhkan self-efficacy teknologi yang dibutuhkan dunia kerja (Sudjimat et al., 2023).

Kebutuhan tersebut menjadi konteks di SMKN 1 Rancaekek sebagai

mitra program. Dokumen pelaksanaan menunjukkan perlunya pengalaman hands-on terstruktur yang mudah direplikasi guru pada jam pelajaran (ekonomis dan aman untuk ruang praktik sekolah). Tantangan yang dicatat meliputi keterbatasan perangkat murah-andal untuk praktik berulang, minimnya alur kalibrasi dan keselamatan yang terdokumentasi, serta asesmen yang belum sepenuhnya menangkap kinerja praktik (observasional dan performatif) (Yeung et al., 2024). Karena itu, program ini menawarkan paket intervensi yang ringkas, jelas tahapannya, dan menyertakan instrumen penilaian kognitif maupun performatif agar kemampuan konseptual dan unjuk kerja praktik dapat diukur konsisten lintas sesi (Jiang et al., 2024).

Drone modular dipilih sebagai media pembelajaran karena mengikat empat domain STEM dalam satu ekosistem kegiatan berjenjang. Proyek drone memungkinkan siswa mengamati

gaya angkat, torsi, dan respons kontrol; memetakan sensor–aktuator pada arsitektur elektronik; serta mempraktikkan pemrograman mikrokontroler dalam konteks yang terlihat dan terukur (Pergantis et al., 2024). Tinjauan sistematis terbaru memetakan tren pedagogi dan keluaran belajar pada integrasi drone di sekolah menengah, termasuk peningkatan motivasi, engagement, dan pemahaman lintas disiplin (Shadiev & Yi, 2023; Yeung et al., 2024).

Konfigurasi aktual diselaraskan dengan implementasi lapangan: frame F330, Arduino Uno, IMU MPU-6050, ESC 30A, motor A2212 1000KV, propeller 8045, baterai Li-Po 3S 2200 mAh, dan firmware MultiWii. MultiWii berbasis ATmega328 memberi jalur belajar transparan sensor–kendali–aktuator bagi pemula (Pushpalatha et al., 2024), sementara MPU-6050 menyediakan data roll–pitch–yaw untuk pengantar kontrol (Proporsional–Integral-Derivatif/PID) serta sensor-fusi sederhana (Tufisi et al., 2024). Kombinasi tersebut menjaga biaya tetap terjangkau tanpa mengorbankan esensi pembelajaran awal yang aman dan replikatif (khususnya untuk uji hover edukatif).

Tujuan program dirumuskan sebagai berikut: (1) meningkatkan literasi STEM melalui pengalaman merakit dan mensimulasikan drone modular; (2) menyediakan alur pembelajaran yang dapat diadopsi guru ke mata pelajaran terkait; dan (3) menghasilkan bukti implementasi yang dapat direplikasi sekolah lain dengan penyesuaian sumber daya. Sasaran program mencakup siswa sebagai pelaku utama pembelajaran dan guru sebagai pengganda praktik melalui microteaching serta adaptasi RPP. Intervensi diarahkan pada peningkatan kompetensi siswa sekaligus penguatan kapasitas guru agar keberlanjutan integrasi teknologi terjaga di kelas vokasi (Shadiev & Yi, 2023; Jiang et al., 2024).

Desain kegiatan mengikuti tiga fase utama yang konsisten dengan dokumen pelaksanaan. Fase 1 - pemaparan materi: keselamatan kerja, aerodinamika dasar, rasio thrust-to-weight, pengantar PID, dan alur konfigurasi MultiWii. Fase 2 - praktik terarah: perakitan dari nol (wiring, manajemen daya), kalibrasi IMU, verifikasi arah motor/propeller, serta simulasi/uji hover terkontrol. Fase 3 - evaluasi: pengukuran capaian belajar

dan refleksi teknis. Struktur bertahap ini selaras dengan rekomendasi integrasi drone di kelas CTE/STEM yang menekankan titik mulai jelas, keselamatan, dan peta kompetensi guru (Slater et al., 2024).

Instrumen evaluasi dirancang menangkap capaian kognitif dan performatif secara komplementer. Pre-post test mengukur penguasaan konsep inti; rubrik proyek menilai unjuk kerja perakitan, ketepatan prosedur, dan keberhasilan simulasi; lembar observasi merekam perilaku kerja, komunikasi, serta kolaborasi; sementara kuesioner kepuasan menggali persepsi pengalaman belajar (Jiang et al., 2024). Praktik penilaian berlapis ini sesuai temuan ulasan mutakhir yang mendorong desain riset-pembelajaran lebih ketat pada intervensi drone (durasi cukup, deskripsi spesifikasi perangkat, dan pelibatan konteks sekolah sebenarnya) (Slater et al., 2024; Yeung et al., 2024).

Kebaruan program terletak pada penyelarasan ketat antara perangkat ekonomis-andal dan alur PjBL yang ringkas, aman, dan terdokumentasi. Modul praktik dilengkapi ilustrasi koneksi, urutan kalibrasi, dan skenario troubleshooting umum (mis. drift IMU, arah putar, failsafe), sehingga

mengurangi beban kognitif pemula saat memulai (Tufisi et al., 2024; Pushpalatha et al., 2024). Materi dirancang agar guru dapat memecah kegiatan ke beberapa pertemuan, menambahkan checkpoint formatif, serta menautkan tugas proyek dengan capaian kurikulum yang relevan (Slater et al., 2024; Sudjimat et al., 2023).

Selain memenuhi kebutuhan jangka pendek pembelajaran, ekosistem drone membuka pintu pengayaan topik untuk fase lanjutan: pemantauan berbasis sensor tambahan, pengenalan telemetri dasar, atau penguatan logika kontrol agar siswa memahami hubungan antara parameter tuning dan stabilitas sikap (Behjati et al., 2021). Strategi active/competition-based learning terbukti menumbuhkan motivasi dan retensi konsep ketika rute pembelajaran dibangun bertahap dari perakitan, pengujian, hingga validasi performa (Abichandani et al., 2024).

Sebagai penegasan, posisi drone modular ini adalah sebagai scaffold pedagogik yang menjembatani teori dengan praktik, membangun self-efficacy teknologi, dan memperkuat budaya kerja ilmiah di SMKN 1 Rancaekek. Melalui tiga fase yang jelas, instrumen asesmen autentik, serta materi

yang dapat direplikasi, program diharapkan tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep, tetapi juga membiasakan prosedur teknis, komunikasi tim, dan problem-solving terstruktur (Slater et al., 2024). Ulasan mutakhir memperlihatkan integrasi drone cenderung efektif bila disejajarkan dengan PjBL dan didukung peningkatan kapasitas guru - kerangka yang menjadi landasan rancangan program ini (Shadiev & Yi, 2023).

METODE PELAKSANAAN KEGIATAN

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) ini dilaksanakan di SMKN 1 Rancaekek Kabupaten Bandung, merupakan sekolah vokasi yang memiliki sejumlah konsentrasi keahlian terkait teknologi dan rekayasa, sehingga menyediakan ekosistem praktik yang relevan untuk pembelajaran berbasis proyek. Pelaksanaan kegiatan memanfaatkan ruang praktik/laboratorium sekolah yang dapat diatur sebagai area aman untuk perakitan, kalibrasi, dan simulasi hover pada platform drone modular. Sasaran dalam kegiatan ini adalah siswa dan guru SMKN 1 Rancaekek. Tujuan utama pelatihan ini adalah meningkatkan

literasi STEM melalui simulasi eksperimen drone modular dan praktik perakitan - kalibrasi menggunakan konfigurasi aktual F330, Arduino Uno, MPU-6050, ESC 30A, motor A2212 1000KV, propeller 8045, baterai Li-Po 3S 2200 mAh, dan firmware MultiWii. Para peserta dipilih berdasarkan kesediaan dan minat pada proyek teknologi, serta rekomendasi pihak sekolah terkait potensi penerapan hasil pelatihan dalam pembelajaran dan kegiatan vokasional berikutnya.

Metode pengabdian yang digunakan dalam kegiatan ini adalah pelatihan intensif dan bimbingan teknis. Kegiatan pelatihan akan dilaksanakan dengan metode tatap muka. Adapun langkah-langkah utama dalam metode pelaksanaan adalah sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan
 - a) Koordinasi dengan sekolah untuk jadwal, ruang praktik aman, dan prosedur K3.
 - b) Menyusun modul, jobsheet perakitan, dan checklist kalibrasi sesuai kebutuhan kelas.
 - c) Menyiapkan perangkat dan melakukan instalasi.
2. Tahap Pelatihan
 - a. Memberi pengenalan sistem drone, arming dan kalibrasi dasar, serta

- aturan keselamatan.
- b. Melaksanakan praktikum terarah mulai dari perakitan, kalibrasi IMU, cek arah motor dan propeller, hingga uji hover terkontrol.
 - c. Mengadakan sesi tanya jawab dan diskusi singkat untuk menguatkan pemahaman dan solusi masalah umum.
3. Tahap Pendampingan
- a. Memberikan bantuan intensif kepada peserta yang mengalami kendala pada wiring, daya, atau kalibrasi.
 - b. Membimbing kerja kelompok untuk mini-proyek unit siap hover dengan dokumentasi foto atau video dan checklist.
4. Tahap Evaluasi dan Tindak Lanjut
- a. Melakukan evaluasi berlapis melalui pre-post test, rubrik proyek, lembar observasi, dan kuesioner kepuasan.
 - b. Memberikan sertifikat kepada peserta yang menyelesaikan rangkaian pelatihan dan memenuhi ambang keselamatan serta prosedur.
 - c. Menyusun paket tindak lanjut berupa modul final, workshop lanjutan untuk guru, dan jadwal replikasi terintegrasi kurikulum.
- Indikator keberhasilan kegiatan PkM ini diukur dari beberapa aspek, yaitu:
1. Tingkat partisipasi dinilai dari jumlah peserta yang menuntaskan seluruh sesi dengan target minimal 90% hadir penuh dan menyelesaikan rangkaian pelatihan.
 2. Peningkatan literasi STEM diukur melalui perbandingan skor pre-test dan post-test pada tiga ranah (STEM & Drone, Perakitan, Simulasi) untuk melihat perubahan pemahaman peserta.
 3. Kemampuan perakitan dan kalibrasi dinilai dari keberhasilan peserta merakit rapi, melakukan kalibrasi IMU, memverifikasi arah motor/propeller, dan menjalankan uji hover terkontrol dengan capaian minimal 70%.
 4. Implementasi oleh guru diukur dari tersusunnya rencana tindak lanjut berupa adaptasi RPP/jobsheet dan rencana replikasi kegiatan pada pembelajaran reguler.
- Evaluasi dalam kegiatan ini dilakukan melalui beberapa tahapan:
1. Pre-test dan post-test digunakan untuk mengukur perubahan pemahaman konsep inti aerodinamika, thrust-to-weight, blok sistem, dasar PID, serta K3.
 2. Penilaian proyek akhir dilakukan menggunakan rubrik performatif untuk menilai kerapian wiring, keberhasilan kalibrasi IMU, verifikasi arah

motor/propeller, dan uji hover terkontrol.

3. Feedback dari peserta dikumpulkan melalui kuesioner untuk mengevaluasi kejelasan materi, efektivitas metode, kelayakan perangkat, dan dukungan fasilitator. Observasi dan diskusi reflektif dilakukan bersama guru dan pihak sekolah untuk menilai partisipasi, kedisiplinan prosedur, dan menyiapkan tindak lanjut implementasi di kelas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Kegiatan PkM berjudul “Simulasi Eksperimen Drone Modular untuk Literasi STEM Digital Natives” di SMKN 1 Rancaekek telah dilaksanakan dengan baik. Pelatihan ini melibatkan 45 peserta yang terdiri dari 40 siswa dan 5 guru pendamping, berlangsung pada Jumat, 27 Oktober 2025, di ruang praktik yang disiapkan sebagai area aman untuk perakitan, kalibrasi, dan uji hover terkontrol. Kegiatan dibagi menjadi sesi pelatihan intensif (pemaparan konsep aerodinamika, thrust-to-weight, blok sistem, dasar PID, dan K3) serta praktik langsung menggunakan konfigurasi F330, Arduino Uno, MPU-6050, ESC 30A, motor A2212 1000KV, propeller 8045, baterai Li-Po 3S 2200 mAh, dan firmware MultiWii.

Untuk mengetahui dampak pelatihan drone modular, dilakukan pre-test sebelum pelatihan dan post-test setelah seluruh rangkaian selesai. Pre-test digunakan untuk mengukur tingkat pemahaman awal peserta, sedangkan post-test untuk menilai peningkatan setelah praktik. Selain pengukuran kognitif, evaluasi juga dilakukan melalui proyek akhir berupa unit siap uji hover per kelompok dengan penilaian rubrik proyek (kualitas wiring, keberhasilan kalibrasi IMU, verifikasi arah motor/propeller, arming/disarming, dan uji hover) serta lembar observasi (kerja tim, komunikasi teknis, disiplin prosedur). Kuesioner kepuasan dikumpulkan untuk merekam umpan balik peserta. Hasil menunjukkan peningkatan signifikan:

Penilaian juga dilakukan berdasarkan proyek akhir berupa unit drone modular siap uji hover per kelompok. Hasil menunjukkan peningkatan signifikan:

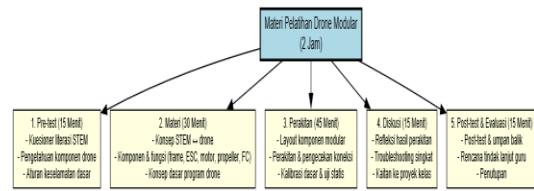
1. Pemahaman Konsep STEM & Drone meningkat dari 56 menjadi 85.
2. Keterampilan Perakitan & Kalibrasi meningkat dari 50 menjadi 82.
3. Kemampuan Simulasi/Hover Terkontrol meningkat dari 48 menjadi 80.

Hasil pelatihan menegaskan bahwa pendekatan ini efektif meningkatkan literasi STEM siswa dan guru, khususnya pada keterampilan teknis yang relevan dengan praktik vokasi, seperti keselamatan kerja, wiring rapi, kalibrasi IMU, verifikasi arah motor/propeller, serta prosedur arming/disarming sebelum uji hover

Pelatihan ini mengadopsi Project-Based Learning yang memungkinkan peserta langsung menerapkan pengetahuan pada perangkat nyata. Pendekatan scaffolding digunakan agar peserta bergerak bertahap, dimulai dari pemahaman blok sistem (sensor-kendali-aktuator-daya), perakitan komponen dan pengelolaan daya, kalibrasi IMU dan verifikasi arah putar, hingga uji hover terkontrol dengan spotter dan kill-switch. Rute belajar bertahap ini menggabungkan pemahaman teoretis dengan pengalaman praktis, sehingga peserta tidak hanya tahu “apa” dan “mengapa”, tetapi juga “bagaimana” menjalankan prosedur teknis yang dapat diuji dan diulang. Beberapa luaran penting dari kegiatan ini adalah sebagai berikut:

1. Peningkatan literasi STEM yang signifikan berdasarkan hasil pre-test dan post-test pada tiga ranah utama.

2. Unit drone siap uji per kelompok disertai dokumentasi foto/video, log kalibrasi, dan checklist prosedur untuk kontrol mutu praktik.
3. Modul pelatihan drone modular (jobsheet perakitan, checklist kalibrasi, bank soal, rubrik proyek, lembar observasi) yang siap direplikasi pada kelas berikutnya.
4. Sertifikat pelatihan bagi peserta yang menuntaskan rangkaian kegiatan serta memenuhi ambang keselamatan dan prosedur.
5. Artikel Ilmiah mengenai hasil pelatihan ini disiapkan untuk dipublikasikan di jurnal atau seminar terkait pendidikan teknologi.



Gambar 1. Mapping Materi Pelatihan

Detail Penyajian Materi Pelatihan dalam durasi 2 jam adalah sebagai berikut.

1. Pre-test (15 menit). Mengukur pengetahuan awal tentang STEM dan drone lewat kuesioner singkat. Butir mencakup konsep dasar, komponen utama, dan keselamatan. Hasil jadi acuan pembanding post-test.
2. Materi Konsep STEM & Drone (30 menit):

Pemaparan ringkas keterkaitan STEM dengan sistem drone serta fungsi tiap komponen. Disampaikan interaktif dengan media visual sebagai bekal praktik.

3. Praktik Perakitan Drone Modular (45 menit):

Hands-on menyusun rangka, memasang motor/propeller, memasang flight controller dan wiring, lalu kalibrasi awal. Output berupa unit terakit benar dan siap uji.

4. Diskusi & Refleksi (15 menit):

Mengulas kendala–solusi selama praktik dan mengaitkannya dengan konsep STEM. Guru merumuskan opsi integrasi ke pembelajaran kelas.

5. Post-test & Evaluasi (15 menit):

Post-test tertulis untuk menilai peningkatan pemahaman, disertai kuesioner umpan balik. Peninjauan singkat kesiapan unit digunakan sebagai dasar perbaikan sesi berikutnya.

Adapun kriteria evaluasi proyek adalah sebagai berikut.

1. Perakitan & Wiring: Kerapian tata letak, ketepatan sambungan daya/sinyal, dan keamanan mekanik pada unit.

2. Kalibrasi Sensor & Verifikasi Motor/Prop: Keberhasilan kalibrasi MPU-6050, orientasi IMU benar, serta arah putar motor dan pasangan propeller

sesuai.

3. Fungsionalitas Uji Hover: Unit mampu hover stabil di area uji (sikap terjaga, respons kontrol wajar) tanpa anomali kritis.



Gambar 2. Drone modular

Pre-test dan post-test dilakukan untuk mengukur pemahaman peserta pada tiga kategori: konsep STEM & drone, perakitan–kalibrasi, dan simulasi-hover & K3. Instrumen mencakup butir tentang aerodinamika dan T/W, wiring dan kalibrasi MPU-6050, verifikasi arah motor/propeller, serta prosedur pre-flight dan shutdown aman. Daftar pertanyaan disusun sesuai tiga kategori tersebut untuk membandingkan kompetensi sebelum dan sesudah pelatihan. Adapun daftar pertanyaan pre-test dan post-test adalah sebagai berikut :

1. Kategori: Pemahaman Konsep STEM & Drone

Tabel 1. Pertanyaan Kategori Pemahaman Konsep STEM & Drone

No	Pertanyaan
1	Jelaskan hubungan konsep STEM dengan sistem drone (sensor-kendali-aktuator-daya).
2	Terangkan makna rasio thrust-to-weight (T/W) dan dampaknya terhadap kemampuan terbang.
3	Sebutkan fungsi utama frame, motor, ESC, propeller, flight controller/Arduino pada drone modular.
4	Jelaskan prinsip dasar PID untuk menjaga stabilitas sikap (roll-pitch-yaw).
5	Uraikan aturan K3 dasar saat perakitan dan pengujian drone di ruang praktik.

Tabel 1 menilai pemahaman teori inti yang menjadi landasan praktik perakitan, kalibrasi, dan uji hover.

2. Kategori: Kemampuan Perakitan & Kalibrasi

Tabel 2. Pertanyaan Kategori Kemampuan Perakitan & Kalibrasi

No	Pertanyaan
1	Uraikan langkah wiring daya dan sinyal antara ESC-motor-Arduino/FC yang benar dan aman.
2	Jelaskan prosedur pemasangan MPU-6050 termasuk orientasi sumbu yang tepat.
3	Terangkan langkah kalibrasi IMU di MultiWii Config hingga status stabil.
4	Jelaskan cara memverifikasi arah putar motor dan pasangan propeller yang benar.

- 5 Paparkan prosedur arming/disarming dan pengecekan konektor untuk mencegah brown-out.

Tabel 2. mengevaluasi keterampilan prosedural pada tahap perakitan dan kalibrasi agar unit aman dan siap uji.

3. Kategori:Kemampuan

Simulasi/Hover & K3

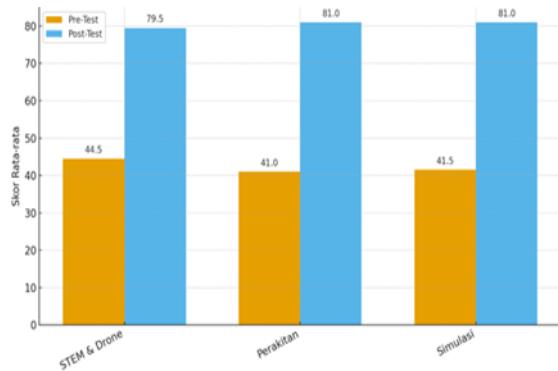
Tabel 3. Pertanyaan Kategori Kemampuan Simulasi/Hover & K3

No	Pertanyaan
1	Jelaskan langkah pre-flight check sebelum simulasi/hover (area, spotter, kill-switch).
2	Terangkan cara menguji respons roll-pitch-yaw yang wajar setelah kalibrasi.
3	Uraikan strategi menangani IMU drift atau getaran saat uji awal.
4	Jelaskan kriteria hover terkontrol yang dinyatakan berhasil pada area uji.
5	Paparkan prosedur shutdown aman dan pencatatan checklist/log kalibrasi setelah uji.

Tabel 3 menilai kemampuan menjalankan simulasi/hover sesuai SOP keselamatan dan dokumentasi bukti kinerja.

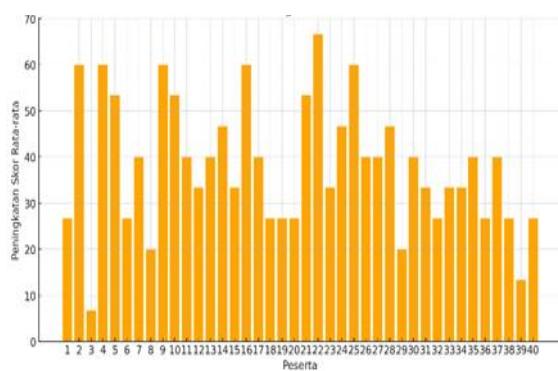
Skor pre-test dan post-test dihimpun dari jawaban pada tiga kategori yang telah ditetapkan, yaitu Pemahaman Konsep STEM & Drone, Kemampuan Perakitan & Kalibrasi, serta

Kemampuan Simulasi/Hover & K3. Berikut disajikan visualisasi perbandingan skor rata-rata pre-test dan post-test peserta untuk masing-masing kategori tersebut.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Skor Rata-Rata Pre-Test dan Post-Test

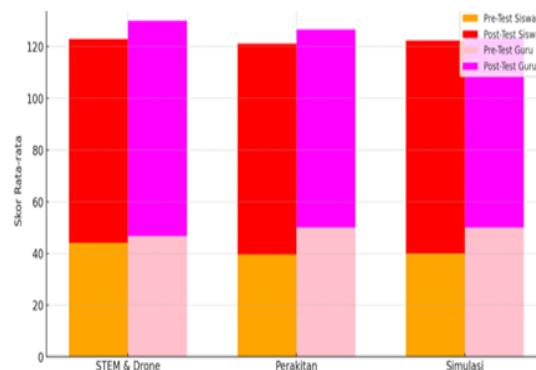
Grafik pada Gambar 3 menunjukkan peningkatan signifikan pada ketiga kategori setelah pelatihan, yang menegaskan dampak positif kegiatan PKM ini. Peningkatan terbesar terjadi pada kategori Perakitan, menunjukkan peserta mampu menerapkan materi praktik (wiring, pemasangan, dan kalibrasi) dengan baik.



Gambar 4. Grafik Distribusi Peningkatan Skor Pre-Test dan Post-

Test

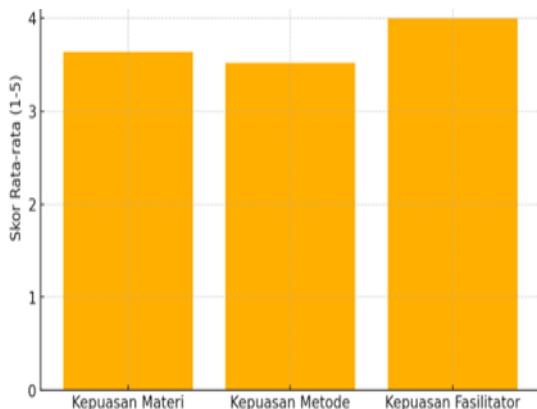
Grafik pada Gambar 4 menampilkan kenaikan skor per peserta dengan mayoritas peningkatan berada pada rentang 20–60 poin, menandakan perbaikan yang merata setelah pelatihan. Hanya sedikit peserta yang menunjukkan kenaikan rendah, sementara beberapa mencapai lonjakan tinggi, sehingga secara keseluruhan menguatkan efektivitas kegiatan PkM.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Skor Pre-Test dan Post-Test Berdasarkan Kategori Peserta (Siswa dan Guru)

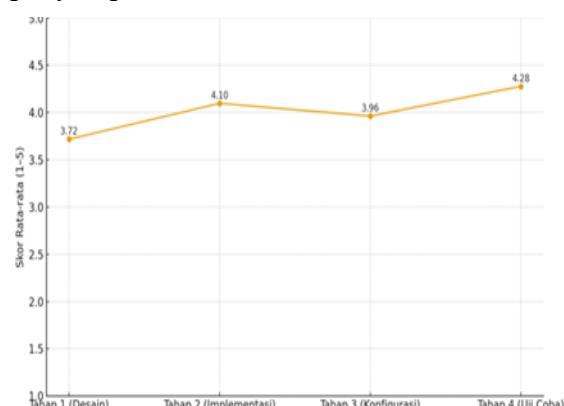
Diagram menunjukkan baik siswa maupun guru mengalami kenaikan skor pada tiga kategori (STEM & Drone, Perakitan, Simulasi) setelah pelatihan. Siswa cenderung mencatat kenaikan sedikit lebih besar, terutama pada Perakitan dan Simulasi, sementara guru menunjukkan peningkatan stabil di semua kategori. Temuan ini menegaskan efektivitas pelatihan bagi kedua kelompok dengan dampak paling terasa

pada keterampilan praktik.



Gambar 6. Grafik Tingkat Kepuasan Peserta Terhadap Pelatihan

Grafik pada gambar 6 menunjukkan tingkat kepuasan rata-rata peserta pada tiga aspek: Materi, Metode, dan Fasilitator. Hasilnya menegaskan Fasilitator memperoleh skor tertinggi, disusul Materi dan Metode, sehingga pendampingan dinilai sangat baik dan materi–metode menjadi fokus penyempurnaan.



Gambar 7. Grafik Distribusi Peningkatan Skor Pre-Test dan Post-Test

Grafik pada gambar 7 menunjukkan progres rata-rata peserta yang meningkat dari Tahap 1 (Desain) ke

Tahap 4 (Uji Coba), dengan sedikit penurunan sementara pada Tahap 3 (Konfigurasi) dan puncak capaian pada tahap akhir. Pola ini menegaskan pemahaman dan keterampilan praktik semakin matang seiring berjalannya sesi, sehingga tahap berikutnya menggunakan rubrik proyek untuk menilai perakitan–wiring, kalibrasi & verifikasi, uji hover, serta dokumentasi-kolaborasi.

Dari hasil-hasil yang didapatkan pada pre-test dan post-test, terdapat rubrik penilaian yang digunakan untuk mengukur penilaian.

Tabel 4. Pertanyaan Kategori Pemahaman Konsep Drone Modular

Tahap	Kriteria Penilaian	Deskripsi Penilaian	Skala Penilaian (1-5)
Perancangan	Kesesuaian Desain	Desain sistem (tujuan, kebutuhan pembelajaran, spesifikasi drone) selaras dengan target literasi STEM & skenario latihan.	1 = Tidak Sesuai, 5 = Sangat Sesuai
	Kreativitas Solusi Modular	Kreativitas pemilihan/penataan modul (frame, motor, ESC, FC, propeller) untuk kemudahan belajar & eksperimen.	1 = Sangat Tidak Kreatif, 5 = Sangat Kreatif
	Keterbaikan Skema	Skema/blok diagram jelas (alur daya & sinyal), notasi konsisten, mudah dipahami.	1 = Sangat Tidak Mudah, 5 = Sangat Mudah
	Kerapuhan & Konsistensi	Tata letak rapi, konsisten antarkomponen, mempertimbangkan center of gravity (CoG).	1 = Tidak Rapi, 5 = Sangat Rapi
Implementasi	Kesesuaian Komponen i	Komponen yang dipakai tepat & sesuai spesifikasi (KV motor, propeller, ESC, baterai).	1 = Tidak Sesuai, 5 = Sangat Sesuai
	Kualitas Perakitan	Koneksi kuat & bersih, manajemen	1 = Sangat Buruk, 5 =

	Kabel rapi, pemasangan propeller benar (arah & posisi).	Sangat Baik
Kepatuhan Keselamatan	Menggunakan SOP keselamatan (alat pelindung, area aman, prosedur arming).	1 = Tidak Aman, 5 = Sangat Aman
Troubleshooting Dasar	Mampu mengidentifikasi & memperbaiki masalah perakitan umum (getaran, konektor longgar).	1 = Tidak Jelas, 5 = Sangat Jelas
Waktu Pengerjaan	Menyelesaikan perakitan sesuai alokasi waktu.	1 = Tidak Tepat, 5 = Sangat Tepat
Konfigurasi	Kalibrasi & Parameter	Kalibrasi IMU/kompas/RC berhasil; parameter awal (PID/limit) masuk akal untuk uji.
	Pemetaan Channel (RC)	Mapping channel benar (arming, throttle, yaw, pitch, roll) dan diuji responsnya.
	Program/Logika Dasar	Logika kontrol dasar (perintah gerak/mission sederhana) sesuai tujuan sesi.
	Dokumentasi Setting	Mencatat versi firmware, parameter kunci, dan perubahan konfigurasi.
Uji Coba	Prosedur Pra-Terbang	Melakukan pre-flight check (mekanik, elektronik, sinyal) secara sistematis.
	Stabilitas & Kontrol	Drone stabil (hover), respons kontrol halus, tidak drift berlebihan.
	Analisis Hasil	Mampu membaca gejala (vibrasi/oscillation) & menentukan tindakan korektif.
	Kepatuhan SOP	Menjaga jarak aman, failsafe & disarm tertib, komunikasi tim baik.
	Refleksi STEM	Mengaitkan temuan simulasi dengan konsep sains/teknologi/reka yasa/matematika.

Tabel 5 dibuat sebagai panduan yang sistematis untuk mengevaluasi hasil kinerja peserta berdasarkan kriteria

yang telah ditentukan yaitu berada pada skala 1 sampai 5.

KESIMPULAN

Berdasarkan pelaksanaan PkM “Simulasi Eksperimen Drone Modular untuk Literasi STEM Digital Natives” di SMKN 1 Rancaekek, diperoleh beberapa kesimpulan berikut:

1. Peningkatan Literasi STEM

Pelatihan berhasil meningkatkan pemahaman konsep inti (aerodinamika, rasio thrust-to-weight, blok sensor-kendali–aktuator, dan pengantar PID). Hal ini tercermin dari kenaikan skor pre-test ke post-test pada tiga kategori evaluasi: STEM & Drone, Perakitan, dan Simulasi/Hover.

2. Penguatan Keterampilan

Peserta (siswa dan guru) mampu merakit unit drone modular dengan wiring yang benar, kalibrasi MPU-6050 yang berhasil, verifikasi arah motor/propeller, dan menuntaskan uji hover terkontrol. Progres per tahap menunjukkan peningkatan konsisten hingga unit siap uji dengan dokumentasi yang rapi.

3. Kepuasan Peserta Terhadap Pelatihan

Hasil kuesioner menunjukkan kepuasan tinggi terutama pada aspek fasilitator, diikuti materi dan metode.

Pendampingan dinilai jelas, safety-minded, dan membantu peserta menghubungkan konsep dengan praktik.

4. Tantangan dan Perbaikan

Tantangan utama meliputi keterbatasan waktu untuk tuning kontrol, antrian kalibrasi, serta kebutuhan alat bantu (pelindung prop, balance charger cadangan). Rekomendasi perbaikan mencakup penambahan slot praktik/tuning, penataan station kalibrasi terpisah, dan pengayaan materi (telemetri/logging sederhana) agar hubungan parameter-stabilitas lebih mudah divisualisasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abichandani, P., et al. (2024). Competition-based active learning instruction for drone education. *Interactive Learning Environments*, 31(10), 1795–1813.
- Behjati, M., Noh, A., AlObaidy, H., Zulkifley, M., Nordin, R., & Abdullah, N. (2021). LoRa communications as an enabler for Internet of Drones in rural farms. *Sensors*, 21(15), 5044.
- Cheng, L., et al. (2024). Systematic review of technology-based STEM education (2015–2022). *TEM Journal*, 13(3), 1793–1804.
- Jiang, M. Y. C., et al. (2024). A scoping review on the utilization of drones in educational settings. *Computers & Education*, 213, 105113.
- M. Y. C. Jiang and others, “A scoping review on the utilization of drones in educational settings,” *Comput Educ*, vol. 213, p. 105113, 2024.
- Mertala, P., López-Pernas, S., Vartiainen, H., Saqr, M., & Tedre, M. (2024). Digital natives in the scientific literature: A topic modeling approach. *Computers in Human Behavior*, 152, 108076.
- Pushpalatha, N., et al. (2024). Development of a MultiWiibased follow-me drone (ATmega328). In *E3S Web of Conferences* (p. 9007).
- Shadiev, R., & Yi, S. (2023). A systematic review of UAV applications to education. *Interactive Learning Environments*, 31(10), 1795–1813.
- Slater, T. F., et al. (2024). Implementation strategies for integrating drones into STEM and CTE programs. *Education Sciences*, 14(1), 105.
- Sudjimat, D. A., et al. (2023). Project-based learning in vocational education: A bibliometric approach. *International Journal of Modern Education and Computer Science*, 15(4), 43–56.
- Tufisi, C., et al. (2024). Forward fall detection using inertial data (MPU6050): A comparative study. *Applied Sciences*, 14(22), 10552.
- Yeung, R. C. Y., et al. (2024). A

systematic review of drone-integrated STEM education at secondary schools (2005–2023).

Computers & Education, 212,
104999.