DEWANTECH Jurnal Teknologi Pendidikan
Vol. 3, No. 2, Agustus 2025, pp. 46 – 55
ISSN: 3025-0978
Open Access: https://journal.awatarapublisher.com/index.php/dewantech

PENGEMBANGAN PROTOTIPE WEB ANALISIS VIDEO GERAK MOBIL MAINAN PADA MATERI GERAK LURUS DI SMA

Teguh Arlovin[1], Agus Wiranto[2], Iksan Jupri[2]
[1] Sistem Informasi, Universitas Nahdlatul Ulama Cirebon, Kota Cirebon, Indonesia
[2] Pendidikan Jasmani Kesehatan dan Rekreasi, Universitas Nahdlatul Ulama Cirebon, Kota Cirebon, Indonesia

e-mail: arlovint@gmail.com[1], aguswiranto0309@gmail.com[2], iksanjufri9@student.unucirebon.ac.id[3]

INFO ARTIKEL
Riwayat Artikel:
Diterima 28 Juni 2025
Direvisi 30 Juli 2025
Disetujui 12 Agustus 2025

KEYWORDS
Video analysis
Linear motion
Local video
Web prototype
Kinematics graphs

ABSTRACT

This development study presents a local video analysis web prototype for grade ten linear motion. The completed ADDIE work covers analysis, design, development, and formative software testing; classroom implementation remains pending. Features include two-point calibration, manual marking, position–time tables and graphs, average velocity, and CSV export. Fifteen technical checks passed in one desktop Chromium environment, including a synthetic WebM workflow. An analytical synthetic coordinate series produced 0.2 m/s. These results establish consistency for tested cases, not physical measurement accuracy or learning effectiveness. No students or expert validators participated. PWA installation, offline resilience, and cross-device compatibility remain unvalidated. Further development requires physical reference measurements, expert review, and user evaluation.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

KATA KUNCI
Analisis video
Gerak lurus
Video lokal
Prototipe web
Grafik kinematika

ABSTRAK

Penelitian ini menghasilkan prototipe web analisis video lokal untuk materi gerak lurus kelas X. Tahap ADDIE yang selesai mencakup analisis, desain, pengembangan, dan evaluasi formatif perangkat lunak; implementasi kelas belum dilakukan. Fitur meliputi kalibrasi dua titik, penandaan manual, tabel dan grafik posisi–waktu, kecepatan rata-rata, serta ekspor CSV. Lima belas pemeriksaan teknis lulus pada satu lingkungan Chromium desktop, termasuk alur video WebM sintetis. Seri koordinat sintetis analitis menghasilkan 0,2 m/s. Hasil tersebut menunjukkan konsistensi kasus uji, bukan akurasi pengukuran fisik atau efektivitas pembelajaran. Belum ada siswa atau validator ahli yang terlibat. Instalasi PWA, ketahanan luring, dan kompatibilitas lintas perangkat belum tervalidasi. Pengembangan lanjutan membutuhkan pengukuran acuan fisik, telaah ahli, dan evaluasi pengguna.

CORRESPONDING AUTHOR
Teguh Arlovin
Universitas Nahdlatul Ulama Cirebon
Kota Cirebon, Indonesia
arlovint@gmail.com

PENDAHULUAN

Materi gerak lurus menuntut peserta didik menghubungkan perubahan posisi dengan waktu, membedakan posisi dari perpindahan, dan menafsirkan kemiringan grafik. Kemampuan tersebut tidak otomatis terbentuk setelah peserta didik melihat benda bergerak. Fatimah (2023) menemukan kesulitan interpretasi grafik pada mahasiswa dalam konteks gerak lurus, sedangkan Prada Núñez et al. (2022) melaporkan persoalan keterkaitan konsep matematika dan fisika pada siswa pendidikan menengah. Kedua konteks itu mendukung perlunya tugas interpretasi yang eksplisit; hasilnya tidak diperlakukan sebagai diagnosis untuk sekolah sasaran penelitian ini karena belum ada analisis kebutuhan lapangan.

Representasi video memberi peluang untuk menelusuri kembali bagaimana suatu titik pada grafik berasal dari posisi benda. Chernetckiy et al. (2022) menguraikan penggunaan Tracker dan penyiapan video untuk kegiatan fisika. Renika et al. (2024) menerapkan analisis video pada gerak dipercepat, sementara Bhakat et al. (2024) dan Pacala dan Pili (2023) memperlihatkan penerapannya pada pendulum. Dengan demikian, analisis video dan pengukuran gerak bukan kebaruan tersendiri. Prototipe yang dikembangkan harus memiliki lingkup lebih sempit dan memperlihatkan alasan pedagogis bagi setiap fiturnya.

Pemilihan mobil mainan pada lintasan lurus dimaksudkan untuk mempertahankan keteramatan eksperimen dengan alat sederhana. Siswa direncanakan merekam gerak sendiri, menetapkan skala, memilih waktu, menandai titik mobil, dan menjelaskan pola grafik. Konsep jarak dan perpindahan perlu dibedakan melalui argumentasi, sebagaimana relevan dengan kajian Jufriadi et al. (2021). Penandaan manual dipilih agar keputusan pengukuran dapat didiskusikan. Pilihan ini juga membawa risiko variasi antarpengamat, sehingga tidak boleh diasumsikan lebih akurat daripada perangkat lain.

Interaksi dengan representasi perlu disertai tugas penalaran. Gok dan Gok (2023) membahas pembelajaran interpretasi grafik melalui *peer instruction*. Hariroh et al. (2024) mengkaji interpretasi grafik dengan pasangan latihan dan media video dinamis pada siswa SMP. Temuan tersebut merupakan landasan untuk menyertakan pertanyaan interpretasi, bukan bukti efektivitas prototipe ini. Garcia et al. (2022), dalam konteks video penjelasan fisika di perguruan tinggi, membedakan bukti interaksi penggunaan dari persepsi pengguna. Pembedaan itu mengingatkan agar log keberfungsian tidak disamakan dengan pemahaman siswa.

Kebutuhan produk ditetapkan sebagai alur video lokal, kalibrasi, penandaan manual, grafik, dan interpretasi dalam satu halaman tanpa unggahan video. Alur ini merupakan kontribusi rancangan yang diuji secara terbatas, bukan klaim aplikasi pertama. Literatur yang ditelaah belum cukup untuk menyimpulkan bahwa integrasi tersebut tidak tersedia pada produk lain. Selain itu, target pengembangan menuju *progressive web app* (PWA) harus dibedakan dari status implementasinya. Manifest dan *service worker* mempunyai fungsi teknis yang berbeda (World Wide Web Consortium [W3C], 2022, 2023a); prototipe saat ini belum mengimplementasikan keduanya.

Penelitian ini memiliki dua pertanyaan: bagaimana kebutuhan pembelajaran gerak lurus diterjemahkan menjadi prototipe analisis video lokal, dan apakah fungsi inti serta perhitungannya konsisten pada skenario sintetis yang ditetapkan? Tujuannya adalah menghasilkan prototipe minimum yang dapat diperiksa, dokumentasi uji teknis, dan rancangan instrumen evaluasi lanjutan. Kajian dibatasi pada posisi, perpindahan, kecepatan rata-rata, serta grafik posisi–waktu. Efektivitas terhadap hasil belajar, kelayakan menurut ahli, dan akurasi eksperimen mobil mainan tidak menjadi hasil yang sudah tersedia.

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan kerangka pengembangan ADDIE, yang penerapannya pada desain instruksional juga dibahas Morales González (2022), sebagai pengorganisasian pekerjaan: *analysis*, *design*, *development*, *implementation*, dan *evaluation*. Pemilihan ini bersifat operasional untuk memisahkan keluaran desain, implementasi perangkat lunak, dan bukti evaluasi. Tahap yang telah dikerjakan adalah analisis kebutuhan dari dokumen rancangan, desain alur dan perhitungan, pembuatan prototipe, serta evaluasi formatif teknis. Tahap *implementation* dalam pembelajaran kelas dan *evaluation* terhadap pengguna belum dilaksanakan. Tidak ada populasi siswa yang sudah direkrut, lokasi sekolah, validator, atau data hasil belajar yang dapat dilaporkan. Unit pengujian yang tersedia adalah fungsi numerik dan alur antarmuka prototipe.

Analisis kebutuhan dilakukan terhadap spesifikasi materi kelas X dan batas produk dalam bahan awal. Penelusuran literatur dilakukan secara terarah, bukan telaah sistematis, untuk

memperoleh pembanding analisis video dan interpretasi grafik. Referensi ilmiah dibatasi pada Maret 2021 sampai Juni 2025; versi spesifikasi teknis dipilih yang sudah tersedia sebelum batas tersebut. Metadata diperiksa melalui laman penerbit dan Crossref bila dapat diakses, sedangkan sumber yang memerlukan akses penuh tidak diperlakukan seolah telah dibaca seluruhnya. Register terpisah merekam DOI, tanggal yang terverifikasi, cakupan akses, dukungan klaim, dan keterbatasan pemeriksaan indeksasi.

Produk dibuat menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript tanpa pustaka jaringan eksternal. Video dipilih melalui input berkas dan dibaca menggunakan *object URL*; tidak tersedia mekanisme unggahan, analitik, atau penyimpanan video pada server. Bingkai ditampilkan pada *canvas* setelah video siap atau peristiwa *seeked* terjadi. Waktu sampel diambil dari *currentTime* browser. Cara ini belum menjamin identitas frame maupun ketepatan waktu pengambilan gambar fisik. Karena itu, *frame rate* nominal tidak dipakai untuk mengklaim resolusi temporal pengukuran. Penandaan otomatis berbasis *computer vision* berada di luar lingkup.

Kalibrasi ditetapkan dari dua koordinat piksel a dan b pada skala sepanjang L meter. Untuk titik mobil p, posisi satu dimensi dihitung melalui proyeksi $x = L\,[(p - a) \cdot (b - a)] / \|b - a\|^2$. Titik a menjadi posisi nol dan arah menuju b menjadi arah positif. Perpindahan adalah $\Delta x = x_{akhir} - x_{awal}$ dan kecepatan rata-rata adalah $\bar{v} = \Delta x/\Delta t$ untuk dua waktu berbeda. Kecepatan tersebut bertanda dan tidak identik dengan kelajuan rata-rata jika gerak berbalik arah. Proyeksi ini bukan koreksi perspektif; skala dan lintasan harus sebidang, kamera tetap, dan orientasi mendekati tegak lurus bidang gerak.

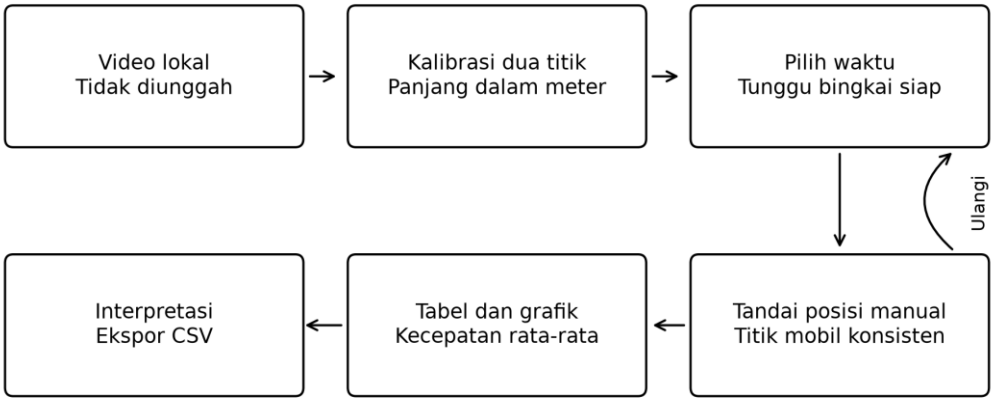
Pemeriksaan teknis mencakup sembilan kasus fungsi numerik dan ekspor, serta enam skenario antarmuka dan lingkungan eksekusi. Seri acuan analitis terdiri atas lima titik pada $t = 0, 1, 2, 3, 4$ s dengan koordinat horizontal $p = 100 + 100t$ piksel, kalibrasi 100 sampai 600 piksel untuk 1 m, dan posisi ideal $x = 0{,}2t$ m. Secara terpisah, video WebM sintetis dibuat dari *canvas* dengan target gerak 100 piksel per detik dan perekaman nominal 30 fps. Penjadwalan animasi dan dekoder browser tidak menjamin waktu frame persis; video ini dipakai untuk memeriksa alur pemilihan berkas, *seek*, penandaan, dan ekspor, bukan sebagai standar metrologi. Tiga bingkai pada waktu 0,1, 1,0, dan 2,0 s ditandai melalui koordinat piksel. Deteksi warna hanya digunakan oleh skrip uji untuk menemukan objek sintetis, tidak menjadi fitur aplikasi.

Pengujian antarmuka dilakukan pada Chromium desktop *headless* melalui *localhost*. Pemeriksaan lulus jika keluaran cocok dengan acuan kasus, input tidak sah ditolak, jumlah baris sesuai, ekspor dapat dibaca, dan tidak terdapat kesalahan halaman atau permintaan jaringan eksternal dalam skenario. Pemeriksaan lebar 390 piksel hanya menguji luapan horizontal, belum menjadi pengujian perangkat seluler fisik. Analisis menggunakan perbandingan deterministik tanpa uji inferensial. Aksesibilitas dasar diperiksa melalui label, fokus keyboard, alternatif input koordinat, dan tabel pendamping grafik; belum dilakukan audit kesesuaian WCAG 2.2 menyeluruh (W3C, 2023b).

Evaluasi lanjutan dirancang melalui telaah ahli fisika, telaah media, dan uji *usability* teramati. Instrumen belum dinilai atau diisi. Rencana rekrutmen purposif mencakup ahli yang memiliki pengalaman sesuai bidang dan sejumlah kecil siswa kelas X untuk mengidentifikasi masalah penggunaan; jumlah dan sekolah harus ditetapkan melalui izin lapangan. Rencana penggunaan peserta anak mensyaratkan persetujuan orang tua atau wali, *assent* siswa, serta izin institusi dan penilaian etik sesuai ketentuan yang berlaku. Rekaman dianjurkan hanya memuat lintasan dan mobil, tanpa wajah, identitas, atau suara siswa. Rancangan evaluasi ini tidak dihitung sebagai data penelitian yang sudah terkumpul.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Luaran pengembangan yang tersedia adalah prototipe web Gerak Lokal beserta kode sumber, petunjuk penggunaan, instrumen yang belum diisi, video sintetis, CSV hasil, dan log uji. Gambar 1 menunjukkan alur operasional. Pengguna memilih video miliknya, menetapkan skala, lalu berpindah antara pemilihan waktu dan penandaan titik. Tabel dan grafik dibentuk dari titik yang sama sehingga sumber setiap representasi dapat ditelusuri. Perubahan berkas video, panjang skala, atau kalibrasi menghapus data sebelumnya untuk mencegah percampuran sistem koordinat.



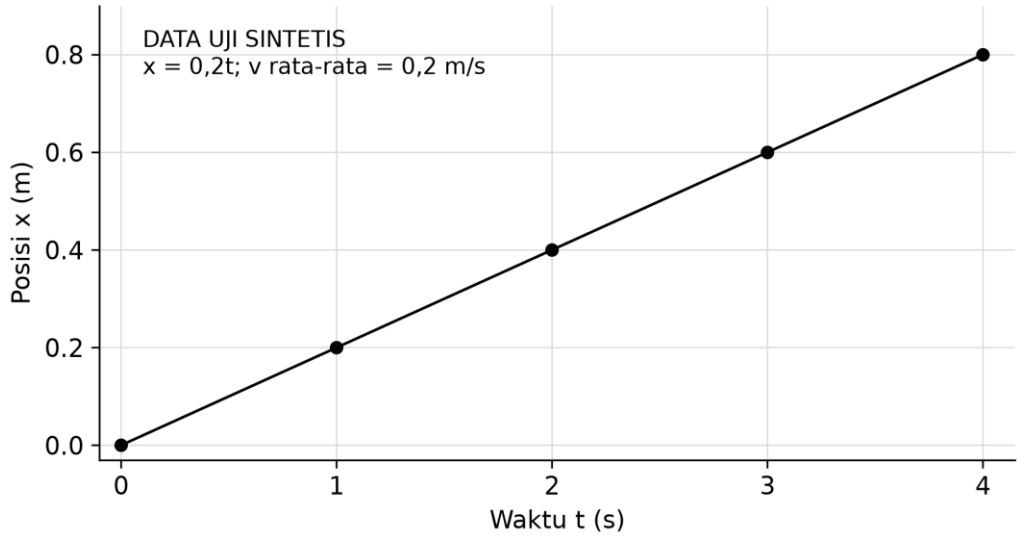
Gambar 1 Alur operasional prototipe web analisis video lokal

Pemetaan kebutuhan dan fitur ditampilkan pada Tabel 1. Materi posisi diwujudkan melalui penetapan nol dan arah sumbu, sedangkan perpindahan dan kecepatan rata-rata dibahas melalui dua waktu yang dipilih. Pertanyaan interpretasi meminta siswa mengaitkan kemiringan dengan perubahan posisi serta menjelaskan ketidakseragaman. Produk tidak mengoreksi interpretasi secara otomatis. Dengan demikian, tabel dan grafik menyediakan representasi, sementara guru tetap diperlukan untuk menilai alasan konseptual siswa.

Tabel 1 Pemetaan kebutuhan materi dan fitur prototipe

Kebutuhan materi	Fitur yang tersedia	Batas interpretasi
Posisi dan acuan	Kalibrasi dua titik dan arah positif	Belum mengoreksi perspektif
Perpindahan dan kecepatan	Tabel dan $\Delta x/\Delta t$	Bukan kelajuan bila berbalik
Grafik posisi–waktu	Titik dan garis penghubung	Bukan bukti gerak selalu seragam
Penalaran dan penyimpanan	Pertanyaan interpretasi dan CSV	Jawaban siswa belum dianalisis

Seri acuan analitis menghasilkan posisi 0; 0,2; 0,4; 0,6; dan 0,8 m untuk lima waktu yang ditetapkan. Kecepatan rata-rata dari titik pertama dan terakhir sebesar 0,2 m/s sesuai rumus acuan. Gambar 2 menampilkan seri tersebut sebagai data uji sintetis, bukan hasil gerak mobil mainan fisik. Kesamaan keluaran pada nilai acuan membuktikan bahwa pemetaan koordinat dan perhitungan kasus ini konsisten. Hasil ini tidak memperkirakan ketidakpastian dari perspektif, *blur*, skala fisik, atau variasi penandaan manusia.



Gambar 2 Grafik seri koordinat sintetis untuk uji fungsi perhitungan

Pada pengujian antarmuka dengan video WebM sintetis, koordinat horizontal yang ditandai adalah 107,5; 197,5; dan 297,5 piksel pada waktu browser 0,1; 1,0; dan 2,0 s. Dengan kalibrasi yang sama, posisi yang diekspor adalah 0,015; 0,195; dan 0,395 m. Perpindahan antara sampel pertama dan terakhir sebesar 0,38 m pada selang 1,9 s menghasilkan kecepatan rata-rata 0,2 m/s. Perbedaan kecil antara posisi video dan seri ideal x = 0,2t memperlihatkan bahwa perekaman *canvas* serta *seek* browser bukan acuan frame presisi. Tidak dihitung persentase akurasi fisik dari kesamaan nilai kecepatan tersebut.

Ringkasan hasil disajikan pada Tabel 2. Seluruh 15 pemeriksaan yang ditetapkan lulus setelah perbaikan pembungkus input berkas yang sebelumnya menimbulkan luapan horizontal pada lebar 390 piksel. Pengujian video juga menghindari bingkai pembukaan kosong dari perekam sintetis dengan memulai penandaan pada 0,1 s. Perbaikan dan penyesuaian *fixture* ini dicatat pada catatan verifikasi. Cakupan kelulusan dibatasi pada skenario yang dijalankan; tidak dilakukan inferensi bahwa semua berkas video, browser, atau interaksi pengguna akan berhasil.

Tabel 2 Ringkasan hasil pemeriksaan teknis

Kelompok pemeriksaan	Kasus	Hasil	Cakupan
Kalibrasi dan proyeksi	3	Lulus	Horizontal, diagonal, sumbu terbalik
Penolakan input numerik	3	Lulus	Skala nol, titik berimpit, waktu tunggal
Kecepatan dan CSV inti	3	Lulus	0,2 m/s, negatif, urutan CSV
Video lokal dan data	4	Lulus	Decode/seek/tanda, duplikat, ekspor, reset skala
Layar dan eksekusi	2	Lulus	Lebar 390 px; tanpa pageerror/request luar
Jumlah	15	Lulus	Satu browser; data uji sintetis

Skenario jaringan hanya menghasilkan permintaan terhadap *localhost* dan sumber video lokal. Temuan ini sesuai dengan desain tanpa unggahan dan tanpa ketergantungan CDN, tetapi belum merupakan audit keamanan atau privasi menyeluruh. Data tanda berada di memori sesi dan hilang setelah halaman dimuat ulang; ekspor CSV diperlukan untuk menyimpan hasil. Belum ada sinkronisasi, penyimpanan proyek, pemulihan sesi, atau pembukaan ulang video dan kalibrasi secara

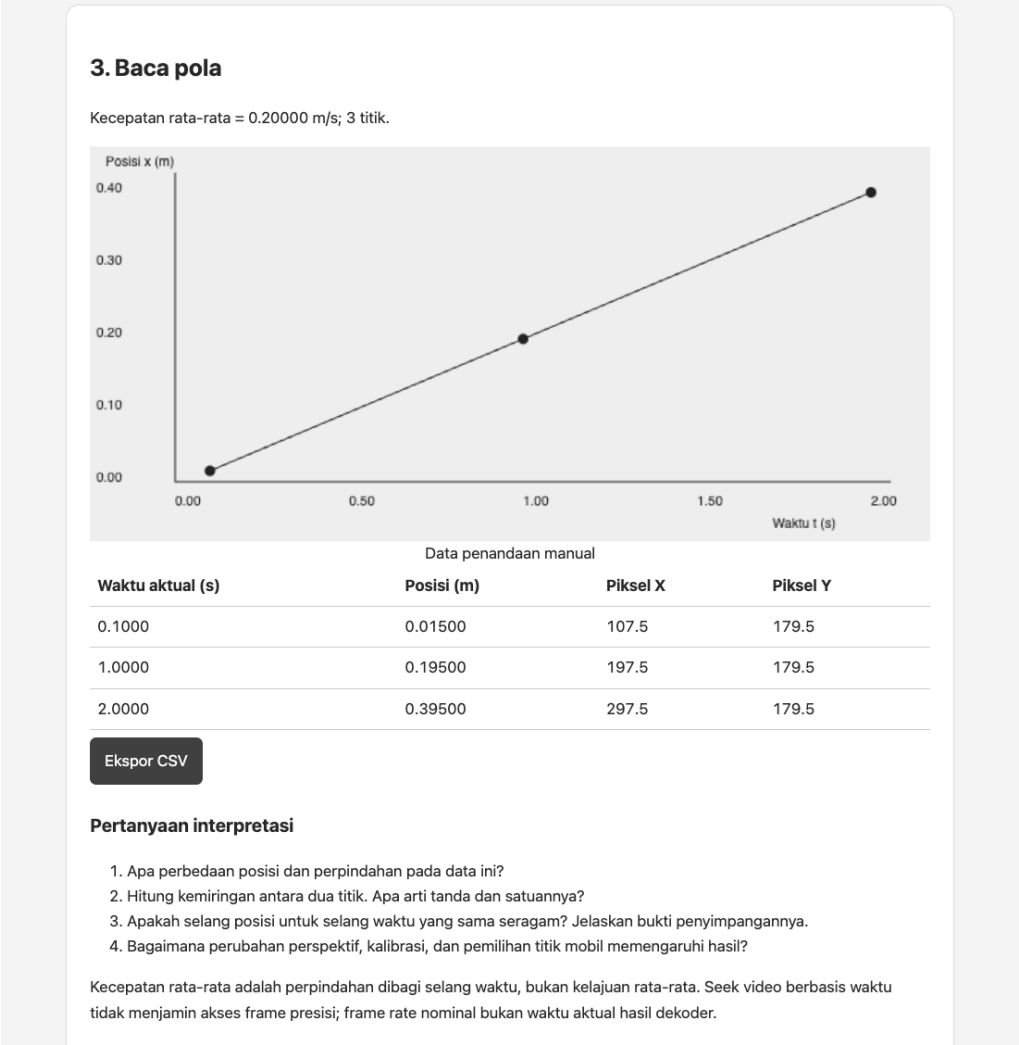
otomatis. Keterbatasan ini perlu diperhitungkan sebelum uji kelas agar siswa tidak kehilangan pekerjaan.

Contoh antarmuka ditampilkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Keduanya berasal dari tangkapan layar prototipe saat pengujian menggunakan video sintetis, bukan dokumentasi eksperimen siswa. Gambar 3 memperlihatkan bingkai objek dan dua penanda skala 0 sampai 1 m. Pesan waktu duplikat pada layar menunjukkan penolakan penandaan ulang pada waktu yang sama. Kalibrasi dan penandaan tetap dilakukan manual melalui klik atau input koordinat piksel.



Gambar 3 Contoh video sintetis dan penanda skala pada prototipe

Keluaran pada Gambar 4 memperlihatkan hasil dari tiga sampel yang sama dengan CSV pengujian: waktu 0,1; 1,0; dan 2,0 s serta posisi 0,015; 0,195; dan 0,395 m. Ringkasan kecepatan rata-rata pada layar sebesar 0,20000 m/s. Tabel, grafik, tombol ekspor CSV, dan pertanyaan interpretasi berada dalam satu alur penggunaan. Tampilan ini menjadi contoh keberfungsian produk; kelayakan penggunaan oleh siswa tetap memerlukan evaluasi tersendiri.



Gambar 4 Contoh keluaran grafik tabel dan pertanyaan interpretasi

Pembandingan pada Tabel 3 memperlihatkan bahwa penelitian terdahulu sudah mencakup analisis kinematika, penerapan video pada percobaan lain, dan pengajaran interpretasi grafik. Prototipe ini mengambil lingkup pengukuran yang lebih terbatas daripada perangkat analisis gerak serbaguna. Nilai tambah yang hendak diuji terletak pada kesatuan alur dan keterlihatan keputusan penandaan, bukan kemampuan analisis yang lebih luas atau keunggulan empiris. Evaluasi pembanding langsung dengan Tracker atau media lain belum dilakukan.

Tabel 3 Pembanding terarah dan posisi kontribusi prototipe

Pembanding	Fokus yang dilaporkan	Posisi prototipe ini
Renika et al. (2024)	Kinematika gerak dipercepat dengan Tracker	Pengukuran 1D dengan tanda manual
Chernetckiy et al. (2022)	Analisis video dalam kegiatan fisika	Alur lokal ringkas tanpa unggahan
Hariroh et al. (2024)	Video dinamis dan interpretasi grafik SMP	Pertanyaan tersedia; hasil belajar belum diuji
Gok dan Gok (2023)	Peer instruction dan grafik SMA	Landasan tugas penalaran; bukan pembanding eksperimen langsung

Hasil teknis sejalan dengan kebutuhan agar siswa menautkan tindakan pengukuran dan representasi, tetapi keberhasilan menerapkan alur belum menguji manfaat pedagogisnya. Flegr et al. (2023) membahas kombinasi eksperimen nyata dan virtual dalam pembelajaran sains; konteks tersebut relevan sebagai pembanding rancangan representasi, bukan bukti langsung tentang video mobil mainan. Kokkonen et al. (2022), pada materi induksi elektromagnetik, tidak menemukan keunggulan umum urutan representasi konkret ke abstrak dibanding urutan sebaliknya. Oleh karena itu, anggapan bahwa video konkret yang diubah menjadi grafik pasti meningkatkan pemahaman perlu diuji, bukan dijadikan kesimpulan desain.

Aspek pengukuran memerlukan pengujian tersendiri. Kamera harus dipasang pada penyangga tetap, skala ditempatkan sebidang dengan lintasan, dan panjang acuan diukur secara independen. Perspektif miring dapat membuat skala piksel per meter berubah sepanjang lintasan; kalibrasi dua titik tidak menyelesaikan distorsi tersebut. Penanda pada mobil harus konsisten dan terlihat jelas. Ketidakseragaman gerak nyata dapat muncul akibat gesekan, kemiringan lintasan, atau mekanisme mobil, sehingga grafik yang menyimpang dari garis lurus tidak langsung dianggap kesalahan aplikasi. Protokol lanjutan perlu memisahkan ketidakpastian pengukuran, variasi gerak, dan kesalahan perangkat lunak. Hasil pada Tabel 2 dan Gambar 2 hanya menunjukkan konsistensi perhitungan pada data sintetis; selisih nilai baru dapat ditafsirkan sebagai kesalahan perangkat lunak setelah acuan fisik ditetapkan.

Status implementasi belum memenuhi target PWA. Manifest berfungsi menyediakan metadata aplikasi, sedangkan *service worker* mendukung pengelolaan permintaan dan cache sesuai spesifikasinya (W3C, 2022, 2023a). Kedua komponen belum tersedia dalam prototipe ini; instalasi, pembaruan cache, kegagalan koneksi, dan pemuatan ulang tanpa jaringan belum diuji. Pemrosesan video lokal tidak cukup untuk menyimpulkan dukungan luring atau keberhasilan instalasi. Istilah prototipe web digunakan konsisten dalam judul dan hasil untuk menjaga kesesuaian klaim dengan bukti.

Keterbatasan utama mencakup tidak adanya pengukuran mobil mainan fisik dengan acuan independen, replikasi oleh pengamat lain, uji lintas *codec* dan perangkat, evaluasi ahli, serta uji pengguna. Layar sentuh, *screen reader*, kontras pada seluruh keadaan, dan pemakaian keyboard tanpa memasukkan koordinat belum diuji secara komprehensif. Klaim kelayakan, kepraktisan, atau efektivitas belum dapat ditetapkan. Keterbatasan ini menjadi dasar rancangan penelitian lanjutan dengan data lapangan.

KESIMPULAN

Pengembangan menghasilkan prototipe web analisis video lokal untuk materi gerak lurus kelas X dengan kalibrasi dua titik, penandaan manual, tabel dan grafik posisi–waktu, kecepatan rata-

rata, serta ekspor CSV. Lima belas pemeriksaan teknis pada satu lingkungan Chromium lulus, dan kasus koordinat sintetis menghasilkan nilai kecepatan rata-rata sesuai acuan 0,2 m/s. Kontribusi yang sudah tersedia adalah implementasi terbatas dan paket pengujian yang dapat diperiksa ulang. Dengan demikian, kebutuhan pembelajaran gerak lurus dapat diterjemahkan menjadi prototipe analisis video lokal, dan fungsi inti serta perhitungannya konsisten pada skenario sintetis yang ditetapkan.

Hasil tersebut belum menunjukkan akurasi pengukuran mobil mainan fisik, kelayakan menurut ahli, atau efektivitas pembelajaran. Produk juga belum layak disebut PWA siap pakai. Pengembangan berikutnya perlu melengkapi pengujian acuan fisik, aksesibilitas dan kompatibilitas perangkat, implementasi PWA beserta pengujian luring, serta uji pengguna dengan perlindungan peserta yang sesuai. Klaim penelitian ini tetap terbatas pada pengembangan prototipe dan uji teknis sampai bukti tersebut tersedia.

KONTRIBUSI PENULIS

Teguh Arlovin: Conceptualization, Methodology, Software, Investigation, Writing - Original Draft; Agus Wiranto: Formal Analysis, Data Curation, Writing - Review and Editing; Iksan Jupri: Validation, Resources, Writing - Review and Editing. Semua penulis telah membaca dan menyetujui naskah versi akhir.

PERNYATAAN KETERSEDIAAN DATA

Kode prototipe, skrip uji, video sintetis, tabel acuan, CSV hasil penandaan teknis, dan log pemeriksaan disertakan pada paket pendukung naskah. Tidak terdapat data siswa atau rekaman lapangan. Data dan kode tersedia dari para penulis atas permintaan yang wajar.

PERNYATAAN BEBAS KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan finansial maupun hubungan pribadi yang dapat mempengaruhi hasil yang dilaporkan dalam naskah ini.

PERNYATAAN ETIKA PENELITIAN DAN PUBLIKASI

Tahap yang dilaporkan menggunakan data uji sintetis tanpa partisipan manusia sehingga tidak memerlukan persetujuan etik, persetujuan orang tua, atau izin sekolah. Uji pengguna pada tahap berikutnya akan dilaksanakan dengan memenuhi ketentuan institusi, persetujuan yang relevan, dan perlindungan privasi peserta anak.

PERNYATAAN PEMANFAATAN TEKNOLOGI ASISTIF

Para penulis menyatakan bahwa Codex digunakan untuk membantu penelusuran dan pemeriksaan metadata sumber, penyusunan draf, pembuatan kode prototipe dan skrip uji, serta penataan dokumen. Penggunaan ini tidak menggantikan pengumpulan data, validasi, atau penelaahan ilmiah. Para penulis telah meninjau dan menyunting seluruh konten, serta bertanggung jawab penuh atas naskah versi akhir.

REFERENSI

Bhakat, P., Chakraborty, S., & Mandal, P. (2024). Tracking the Motion of a Simple Pendulum with Tracker. *Resonance*, *29*(8), 1085–1093. https://doi.org/10.1007/s12045-024-1085-2

Chernetckiy, I., Slipukhina, I., Mieniailov, S., & Kurylenko, N. (2022). Distance education methods: Video analysis in teaching physics. *Information Technologies and Learning Tools, 92*(6), 21–34. https://doi.org/10.33407/itlt.v92i6.5086

Fatimah, F. (2023). Analisis kemampuan interpretasi grafik mahasiswa pada materi gerak lurus. *EDUSAINTEK: Jurnal Pendidikan, Sains dan Teknologi*, *10*(2), 554–566. https://doi.org/10.47668/edusaintek.v10i2.735

Flegr, S., Kuhn, J., & Scheiter, K. (2023). When the whole is greater than the sum of its parts: Combining real and virtual experiments in science education. *Computers & Education*, *197*, 104745. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104745

Garcia, V., Conesa, J., & Perez-Navarro, A. (2022). Videos with Hands: an Analysis of Usage and Interactions of Undergraduate Science Students for Acquiring Physics Knowledge. *Journal of Science Education and Technology*, *31*(4), 442–460. https://doi.org/10.1007/s10956-022-09966-z

Gok, T., & Gok, O. (2023). High School Students' Comprehension of Kinematics Graphs with Peer Instruction Approach. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, *18*(2), 144–155. https://doi.org/10.15294/jpfi.v18i2.35028

Hariroh, L., Hidayat, A., Sutopo, S., & Purwaningsih, E. (2024). Practice rehearsal pairs with dynamic video media: Improving students' kinematics graph interpretation skills. *Momentum: Physics Education Journal*, *8*(2), 230–238. https://doi.org/10.21067/mpej.v8i2.9895

Jufriadi, A., Ayu, H. D., Sholikhan, S., Muttaqin, A., Budiyono, A., Sundaygara, C., & Hudha, M. N. (2021). Distance and displacement concept: Comprehension shifting of students on learning process. *Journal of Physics: Conference Series*, *1869*(1), 012154. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1869/1/012154

Kokkonen, T., Lichtenberger, A., & Schalk, L. (2022). Concreteness fading in learning secondary school physics concepts. *Learning and Instruction*, *77*, 101524. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2021.101524

Morales González, B. (2022). Diseño instruccional según el modelo ADDIE en la formación inicial docente. *Apertura*, *14*(1), 80–95. https://doi.org/10.32870/ap.v14n1.2160

Pacala, F. A., & Pili, U. (2023). Tracking the Acceleration Due to Gravity and Damping of a Pendulum: A Video Analysis. *Physics Education Research Journal*, *5*(2), 83–90. https://doi.org/10.21580/perj.2023.5.2.16614

Prada Núñez, R., Gamboa Suárez, A. A., & Avendaño Castro, W. R. (2022). Difficulties in the interpretation of kinematics graphs in secondary basic education students. *Journal of Physics: Conference Series*, *2159*(1), 012019. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2159/1/012019

Renika, J., Prima, E. C., & Amprasto, A. (2024). Kinematics analysis on accelerated motion using tracker video analysis for educational purposes. *Momentum: Physics Education Journal*, *8*(1), 23–31. https://doi.org/10.21067/mpej.v8i1.8883

World Wide Web Consortium. (2022). Service workers. https://www.w3.org/TR/2022/CRD-service-workers-20220712/

World Wide Web Consortium. (2023a). Web application manifest. https://www.w3.org/TR/2023/WD-appmanifest-20230125/

World Wide Web Consortium. (2023b). Web content accessibility guidelines (WCAG) 2.2. https://www.w3.org/TR/2023/REC-WCAG22–20231005/