

PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN KALKULUS BERBASIS ADOBE FLASH PROFESSIONAL CS6 UNTUK MENINGKATKAN PEMAHAMAN KONSEP LIMIT DAN TURUNAN

Torang Siregar 

Pendidikan Matematika, Universitas Islam Negeri Syekh Ali Hasan Ahmad Addary
Padangsidempuan, Sumatera Utara, Indonesia

Email : torangsiregar966@gmail.com , torangsir@uinsyahada.ac.id

ORCID 

 Torang Siregar — <https://orcid.org/0009-0006-1416-0461>

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan media pembelajaran interaktif berbasis Adobe Flash Professional CS6 untuk mata kuliah Kalkulus, khususnya materi Limit dan Turunan. Pengembangan dilakukan dengan metodologi Research and Development (R&D) menggunakan model ADDIE, yang mencakup tahap Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation. Produk akhir bernama “KalkulusFlash” berformat .exe yang dapat dijalankan tanpa Flash Player, dilengkapi dengan menu materi, simulasi interaktif, dan latihan soal. Hasil validasi ahli menunjukkan tingkat kevalidan sangat tinggi dengan rata-rata 94% (ahli media: 92%, ahli materi: 94%, ahli bahasa: 96%). Uji kepraktisan terhadap dosen dan mahasiswa masing-masing memperoleh skor 90% dan 86%, dengan rata-rata 88% (sangat praktis). Uji keefektifan dilakukan melalui *pretest-posttest* terhadap 35 mahasiswa. Hasilnya, nilai rata-rata meningkat dari 45 (*pretest*) menjadi 81 (*posttest*), dengan N-Gain ternormalisasi sebesar 0,65 (kategori sedang). Uji *paired sample t-test* menunjukkan perbedaan signifikan ($p < 0,05$). Simpulannya, media “KalkulusFlash” valid, praktis, dan efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep Limit dan Turunan, serta dapat menjadi alternatif media pembelajaran yang terjangkau di lingkungan perguruan tinggi.

Kata Kunci: Media Pembelajaran, Adobe Flash CS6, Kalkulus, Limit dan Turunan, ADDIE.

A. PENDAHULUAN

Pendidikan merupakan proses fundamental dalam membentuk kemampuan dasar manusia, baik dari segi kognitif, afektif, maupun psikomotorik (Jalaluddin & Abdullah Idi, 2013). Dalam konteks pendidikan tinggi, penguasaan matematika, khususnya Kalkulus, menjadi salah satu pilar penting untuk membangun kemampuan berpikir logis, analitis, dan sistematis. Kalkulus mempelajari konsep-konsep fundamental seperti Limit dan Turunan yang menjadi dasar bagi banyak aplikasi dalam sains, teknologi, dan rekayasa. (Alessio, F., et al., 2022)

Namun, realitas di lapangan menunjukkan bahwa pembelajaran Kalkulus seringkali dihadapkan pada berbagai kendala. Materi seperti Limit dan Turunan dikenal bersifat abstrak, penuh dengan notasi matematis, dan memerlukan pemahaman konseptual yang mendalam. Penyampaian materi yang masih bersifat konvensional, monoton, dan kurang interaktif kerap

menjadi penyebab rendahnya pemahaman dan minat mahasiswa terhadap mata kuliah ini. Keterbatasan sarana dan prasarana pendukung, seperti media pembelajaran yang inovatif, semakin memperparah situasi ini. (Apriandi, D., et al., 2024)

Di era revolusi industri 4.0 dan society 5.0, teknologi informasi dan komunikasi (TIK) telah menjadi bagian tak terpisahkan dari dunia pendidikan. Perkembangan teknologi multimedia interaktif menawarkan peluang besar untuk mentransformasi metode pembelajaran yang statis menjadi dinamis, menarik, dan efektif. Pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran, atau yang sering disebut e-learning atau digital learning, telah terbukti dapat meningkatkan keterlibatan (engagement), motivasi, dan hasil belajar peserta didik (Gunawan et al., 2020). Dalam konteks Kalkulus, media pembelajaran berbasis komputer dengan animasi dan simulasi dapat membantu memvisualisasikan konsep-konsep abstrak menjadi lebih konkret dan mudah dipahami. (Aprianti, S. N., 2024)

Salah satu perangkat lunak yang powerful untuk mengembangkan media pembelajaran interaktif adalah Adobe Flash Professional CS6. Meskipun perkembangan teknologi telah melahirkan tools yang lebih baru, Adobe Flash CS6 pada masanya merupakan aplikasi yang sangat populer untuk membuat animasi, simulasi, dan konten interaktif berbasis vektor dan bitmap. Keunggulannya terletak pada kemampuannya menghasilkan animasi yang halus, ukuran file yang relatif kecil, serta kemudahan dalam mengintegrasikan teks, gambar, audio, video, dan scripting (ActionScript) untuk menciptakan interaktivitas yang tinggi (Votcamejo, 2020).

Landasan Teori pada kajian ini dibangun dari beberapa teori dan konsep utama. Pertama, Teori Konstruktivisme (Piaget, Vygotsky) yang menekankan pembangunan pengetahuan aktif oleh peserta didik melalui interaksi dengan lingkungan, di mana media berbasis Flash dengan simulasi interaktif dapat memfasilitasi proses ini. Selanjutnya, Teori Pemrosesan Informasi meninjau belajar sebagai proses penerimaan dan pengolahan informasi, di mana media multimedia mendukung *dual coding* untuk meningkatkan efektivitas pemahaman dan ingatan. Teori ketiga adalah Cognitive Load Theory (Sweller) yang menekankan pengelolaan kapasitas memori kerja terbatas, di mana desain media yang baik dapat mengurangi beban kognitif tidak relevan melalui penyajian informasi bertahap. (Arifin, S., et al., 2025)

Konsep Media Pembelajaran menurut Hamalik (1980) didefinisikan sebagai alat, metode, dan teknik untuk meningkatkan efektivitas komunikasi dan interaksi dalam pembelajaran. Media memiliki fungsi antara lain sebagai alat bantu penyampai pesan, sumber belajar, peningkat motivasi, dan solusi atas keterbatasan ruang dan waktu. Media berbasis Adobe Flash

termasuk dalam klasifikasi media interaktif berbasis komputer, yang dinamis dan dapat dikendalikan pengguna. (Awaluddin, A., et al., 2025)

Selanjutnya, Multimedia Pembelajaran Interaktif merupakan integrasi berbagai media yang dapat dikontrol pengguna untuk tujuan pembelajaran. Kelebihan utamanya dalam konteks Kalkulus adalah kemampuan untuk memvisualisasikan konsep abstrak, menyediakan simulasi eksperimen virtual, dan mendukung pembelajaran mandiri yang adaptif. Sebagai alat pengembangannya, Adobe Flash Professional CS6 dipilih karena keunggulannya dalam membuat animasi vektor yang ringan, dukungan pemrograman dengan ActionScript 3.0 untuk logika interaktif yang kompleks, serta kemampuan integrasi berbagai format. Meski dukungan Flash Player telah berakhir, output dari Flash CS6 tetap dapat dimanfaatkan melalui konversi format atau sebagai aplikasi mandiri. (Astuti, F. N., et al., 2020)

Multimedia Pembelajaran Interaktif merupakan integrasi dari berbagai elemen media—seperti teks, grafik, audio, video, dan animasi—yang dirancang khusus untuk mendukung proses pembelajaran. Media ini bersifat interaktif karena memberikan kontrol penuh kepada pengguna dalam mengelola navigasi, kecepatan belajar, dan pilihan materi yang ingin dipelajari. Dalam konteks pembelajaran modern, multimedia interaktif tidak hanya berfungsi sebagai alat penyampai informasi, tetapi juga sebagai fasilitator yang memungkinkan peserta didik berinteraksi aktif dengan konten, sehingga memicu keterlibatan kognitif dan afektif yang lebih mendalam. (Cheong, K. H., et al., 2023)

Dalam pembelajaran Kalkulus, khususnya pada materi abstrak seperti Limit dan Turunan, multimedia interaktif memberikan beberapa keunggulan strategis. Pertama, media ini mampu memvisualisasikan konsep matematika yang sulit dipahami secara teoritis menjadi bentuk grafis, animasi, atau simulasi yang lebih konkret. Kedua, fitur simulasi eksperimen virtual memungkinkan mahasiswa melakukan eksplorasi mandiri terhadap variabel-variabel matematis, seperti perubahan grafik fungsi terhadap nilai limit atau turunan. Ketiga, dengan dukungan pembelajaran adaptif, mahasiswa dapat belajar sesuai dengan tingkat pemahaman dan kecepatan masing-masing. (Chomariyah, N., et al., 2025)

Adobe Flash Professional CS6 dipilih sebagai alat pengembangan utama karena memiliki sejumlah keunggulan teknis yang relevan dengan kebutuhan pengembangan media pembelajaran. Salah satunya adalah kemampuannya menghasilkan animasi vektor dengan ukuran file yang ringan namun kualitas visual yang halus. Selain itu, Flash CS6 didukung oleh bahasa pemrograman ActionScript 3.0, yang memungkinkan pembuatan logika interaktif kompleks seperti sistem kuis, simulasi dinamis, dan navigasi yang responsif. Platform ini juga

mampu mengintegrasikan berbagai format media, termasuk audio, video, dan grafik bitmap, dalam satu lingkungan pengembangan yang terpadu. (Khemane, T., et al., 2023)

Meskipun dukungan resmi untuk Flash Player telah dihentikan, produk yang dikembangkan dengan Flash CS6 tetap dapat dimanfaatkan melalui beberapa strategi alternatif. Salah satunya adalah dengan mengonversi output proyek ke dalam format yang lebih universal, seperti HTML5, melalui software konverter tertentu. Alternatif lainnya adalah mengekspor proyek sebagai aplikasi mandiri (*standalone executable* atau *.exe*) yang dapat dijalankan langsung pada sistem operasi Windows tanpa memerlukan instalasi Flash Player. Dengan demikian, konten pembelajaran yang telah dikembangkan tetap memiliki nilai fungsional dan dapat diakses dalam lingkungan pembelajaran yang terbatas. (de Carvalho, P. P., et al., 2024)

Penggunaan Adobe Flash CS6 dalam pengembangan media pembelajaran interaktif menunjukkan bahwa teknologi yang tidak lagi didukung penuh tetap dapat memberikan kontribusi signifikan jika dikelola dengan tepat. Hal ini membuka peluang bagi pengembang media, khususnya di institusi pendidikan dengan sumber daya terbatas, untuk memanfaatkan perangkat yang sudah familiar dan terjangkau. Namun, ke depan, penting pula untuk mempertimbangkan migrasi ke platform yang lebih terbuka dan berkelanjutan, seperti Adobe Animate, HTML5, atau framework JavaScript, guna memastikan kompatibilitas jangka panjang dan aksesibilitas yang lebih luas di berbagai perangkat. (Lestari, L. P., et al., 2023)

Penelitian yang Relevan memberikan dukungan empiris. Studi oleh Syefrinando dkk. (2020) menunjukkan bahwa media berbasis Flash CS6 untuk Fisika Dasar I sangat valid, praktis, dan efektif dengan peningkatan hasil belajar (N-gain tinggi). Penelitian ini akan melakukan replikasi dan pengembangan lebih lanjut untuk mata kuliah Kalkulus. Dukungan juga datang dari penelitian Gunawan dkk. (2020) yang membuktikan efektivitas multimedia interaktif berbasis inkuiri, penelitian Sahidu dkk. (2020) tentang pemanfaatan TIK untuk peningkatan efektivitas pembelajaran, serta penelitian Votecamejo (2020) yang mengonfirmasi kemampuan Adobe Flash dalam mempermudah pemahaman konsep abstrak. (Siregar, T., et al., 2025)

Relevansi penelitian terdahulu memberikan landasan empiris yang kuat dan kontekstual bagi pengembangan media pembelajaran yang inovatif, di mana setiap studi yang dikutip tidak hanya berfungsi sebagai referensi teoretis tetapi juga sebagai validasi praktis atas efektivitas pendekatan teknologi dalam pendidikan. Kajian-kajian ini secara kolektif membuktikan bahwa integrasi alat digital seperti Adobe Flash CS6 dalam desain pembelajaran mampu mengatasi berbagai tantangan pedagogis, khususnya dalam menyampaikan materi yang bersifat abstrak dan kompleks. Oleh karena itu, eksplorasi terhadap rangkaian penelitian sebelumnya menjadi

langkah kritis untuk mengidentifikasi best practice, menghindari kelemahan metodologis, dan merancang solusi yang lebih tepat sasaran serta berkelanjutan (Siregar, T., et al., 2025). Selain itu, temuan dari berbagai studi tersebut menciptakan sebuah peta pengetahuan yang memandu peneliti dalam menetapkan tujuan, metode, dan indikator keberhasilan yang realistis dan terukur. Dengan demikian, bagian ini tidak hanya sekadar menyajikan daftar pustaka, tetapi membangun sebuah argumentasi akademik tentang mengapa pengembangan media baru ini diperlukan dan didukung secara ilmiah. Kerangka pemikiran yang dibentuk dari sintesis penelitian relevan ini pada akhirnya memastikan bahwa inovasi yang dihasilkan berdiri di atas fondasi keilmuan yang kokoh, bukan sekadar eksperimen teknologi semata. Proses ini juga memperlihatkan kontinuitas perkembangan ilmu di bidang teknologi pendidikan, di mana setiap penelitian baru berupaya menjawab keterbatasan atau memperluas temuan penelitian sebelumnya ke konteks yang berbeda. (Siregar, T., et al., 2025)

Studi yang dilakukan oleh Syefrinando dan kolega pada tahun 2020 berperan sebagai landasan empiris yang paling langsung dan relevan untuk penelitian pengembangan media Kalkulus ini karena fokusnya yang spesifik pada penggunaan Adobe Flash Professional CS6 dalam konteks pendidikan sains di perguruan tinggi. Penelitian tersebut berhasil mendemonstrasikan bahwa media pembelajaran berbasis Flash CS6 yang dikembangkan untuk mata kuliah Fisika Dasar I memenuhi kriteria kelayakan yang sangat tinggi, yang mencakup aspek validitas isi dan desain, kepraktisan dalam penggunaan di kelas, serta keefektifannya dalam meningkatkan hasil belajar mahasiswa, yang dibuktikan dengan perolehan nilai N-Gain yang termasuk dalam kategori tinggi (Lepellere, M. A., et al, 2025). Keberhasilan ini terutama terletak pada kemampuan media tersebut dalam memvisualisasikan konsep-konsep mekanika yang abstrak, sehingga memfasilitasi pemahaman yang lebih mendalam di kalangan peserta didik (Siregar, T., et al., 2025). Temuan kunci dari penelitian Syefrinando dkk. menjadi justifikasi utama untuk mengadopsi platform pengembangan yang sama, yaitu Adobe Flash CS6, dalam menciptakan media untuk mata kuliah Kalkulus, dengan keyakinan bahwa keunggulan teknis dan pedagogis yang serupa dapat direplikasi (Lepellere, M. A., et al, 2025). Lebih dari itu, penelitian ini tidak hanya akan meniru atau mengulang metode yang sama, tetapi secara eksplisit dirancang sebagai upaya replikasi dan pengembangan lebih lanjut yang bertujuan untuk menguji apakah keberhasilan yang sama dapat dicapai dalam domain keilmuan yang berbeda, yaitu matematika. Hal ini memperkuat posisi penelitian saat ini bukan sebagai pekerjaan yang terisolasi, melainkan sebagai bagian dari rangkaian kajian sistematis untuk membuktikan keandalan suatu tools dalam berbagai konteks pembelajaran. (Siregar, T., et al., 2025)

Sementara studi Syefrinando dkk. memberikan model langsung penggunaan Flash CS6, dukungan yang lebih luas terhadap prinsip pembelajaran interaktif datang dari penelitian Gunawan, Harjono, dan Sahidu pada tahun 2020, yang menyelidiki efektivitas multimedia interaktif berbasis inkuiri dalam memahami konsep cahaya. Penelitian ini membuktikan bahwa pendekatan pembelajaran yang menekankan eksplorasi aktif, pertanyaan pemandu, dan simulasi interaktif mampu secara signifikan meningkatkan keterlibatan kognitif siswa dan hasil belajar mereka dibandingkan dengan metode konvensional (Siregar, T., et al., 2025). Temuan ini sangat relevan karena menyoroti pentingnya desain pedagogis di balik media teknologi; keunggulan suatu media tidak hanya terletak pada fitur teknisnya, tetapi pada kemampuannya untuk mewadahi strategi pembelajaran yang terbukti efektif, seperti inkuiri. Dalam konteks pengembangan "KalkulusFlash", prinsip inkuiri ini dioperasionalkan melalui fitur simulasi interaktif di mana mahasiswa dapat memanipulasi variabel (seperti nilai input fungsi) dan langsung mengamati dampaknya terhadap limit atau turunan, sehingga mendorong proses penemuan dan konstruksi pengetahuan secara mandiri. Dengan demikian, penelitian Gunawan dkk. tidak hanya mendukung penggunaan multimedia secara umum, tetapi secara khusus menguatkan filosofi desain yang berpusat pada peserta didik dan bersifat eksploratif, yang menjadi jiwa dari media yang sedang dikembangkan. (Siregar, T., et al., 2025)

Dukungan empiris tambahan diperoleh dari penelitian Sahidu dan kolega pada tahun 2020, yang secara komprehensif mengkaji pemanfaatan Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) dalam meningkatkan efektivitas proses pembelajaran, khususnya melalui pengembangan e-learning berbasis Moodle untuk fisika dasar. Kajian ini mengungkapkan bahwa integrasi TIK yang terstruktur dan sesuai dengan kebutuhan pembelajaran dapat mengatasi keterbatasan ruang dan waktu, memberikan akses terhadap sumber belajar yang beragam, dan pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan kualitas hasil akademik (Siregar, T., et al., 2025). Relevansi penelitian Sahidu dkk. terletak pada penegasannya bahwa kesuksesan implementasi teknologi dalam pendidikan sangat bergantung pada faktor kesesuaian dengan tujuan pembelajaran, kemudahan akses, serta dukungan institusional, di samping kualitas media itu sendiri. Dalam kerangka pengembangan media Kalkulus, temuan ini menjadi pengingat penting untuk melakukan analisis kebutuhan yang mendalam terhadap karakteristik mahasiswa dan dosen, serta memastikan bahwa produk akhir yang dihasilkan benar-benar dapat diakses dan terintegrasi dengan mulus ke dalam ekosistem pembelajaran yang ada, sehingga efektivitasnya tidak hanya diukur di tingkat teknis media tetapi juga di tingkat adopsi dan utilitas dalam konteks nyata. (Siregar, T., et al., 2025)

Penelitian Votecamejo pada tahun 2020 memberikan dukungan teknis yang spesifik dengan mengonfirmasi kapabilitas Adobe Flash Professional sebagai alat pengembangan media yang powerful dalam mempermudah pemahaman konsep-konsep abstrak di berbagai bidang ilmu. Studi ini secara rinci menguraikan keunggulan Flash CS6, seperti kemampuan membuat animasi vektor yang halus dan ringan, fleksibilitas dalam pemrograman interaktivitas menggunakan ActionScript, serta kemudahannya dalam menggabungkan berbagai elemen multimedia. Votecamejo menegaskan bahwa kekuatan utama Flash terletak pada kemampuannya untuk "menghidupkan" konsep-konsep statis menjadi dinamika visual yang dapat dikontrol oleh pengguna, yang secara psikologis mengurangi beban kognitif dan meningkatkan retensi memori (Siregar, T., et al., 2025). Konfirmasi ini sangat berharga karena datang dari sumber yang secara khusus membahas pembuatan media dengan Flash, sehingga memberikan legitimasi teknis dan pedagogis atas pilihan tools tersebut untuk mengembangkan media Kalkulus. Lebih jauh, penelitian Votecamejo juga sering menjadi rujukan praktis dalam tahap development, memberikan panduan operasional dalam menciptakan animasi dan logika interaktif yang efektif. (Siregar, T., et al., 2025)

Secara kolektif, penelitian-penelitian yang relevan tersebut—mulai dari Syefrinando dkk. (2020), Gunawan dkk. (2020), Sahidu dkk. (2020), hingga Votecamejo (2020)—membentuk sebuah landasan yang kuat dan multidimensi, yang mendukung pengembangan media "KalkulusFlash" dari sisi bukti efektivitas, prinsip pedagogis, strategi integrasi TIK, dan kapabilitas teknis tools. Sintesis dari berbagai kajian ini mengarah pada kesimpulan bahwa pengembangan media pembelajaran interaktif untuk Kalkulus berbasis Adobe Flash CS6 bukan hanya layak, tetapi juga didukung oleh tren dan temuan empiris positif dalam bidang teknologi pendidikan (Lepellere, M. A., et al, 2025). Penelitian ini memposisikan dirinya sebagai kelanjutan logis dan perluasan dari rangkaian studi tersebut, dengan tujuan khusus untuk menguji apakah formula keberhasilan dalam pembelajaran fisika dapat ditransfer dan diadaptasi secara efektif untuk mengatasi tantangan khusus dalam pembelajaran matematika kalkulus. Dengan demikian, bagian penelitian relevan ini berfungsi sebagai jembatan yang menghubungkan pengetahuan masa lalu dengan inovasi masa kini, sekaligus memetakan kontribusi potensial yang dapat diberikan oleh penelitian ini terhadap tubuh ilmu pengetahuan yang lebih luas. (Lepellere, M. A., et al, 2025)

Dukungan empiris dari penelitian-penelitian terdahulu tersebut memiliki implikasi langsung dan praktis terhadap metodologi dan desain pengembangan yang diterapkan dalam studi ini. Pertama, mengikuti model dari Syefrinando dkk., pendekatan Research and Development (R&D) dengan model ADDIE dipilih untuk menjamin sistematika dan

kelengkapan proses. Kedua, prinsip inkuiri dari Gunawan dkk. diimplementasikan dalam desain fitur simulasi interaktif yang memungkinkan eksplorasi mandiri (Torang Siregar, & Yuni Rhamayanti, 2025). Ketiga, temuan Sahidu dkk. tentang pentingnya analisis kebutuhan dan konteks diakomodasi melalui tahap Analysis yang mendalam sebelum merancang media. Keempat, keunggulan teknis Adobe Flash yang dikonfirmasi Votecamejo menjadi pertimbangan utama dalam seleksi tools pengembangan (Torang Siregar, & Yuni Rhamayanti, 2025). Dengan kata lain, setiap tahap dalam pengembangan "KalkulusFlash"—mulai dari perencanaan, desain, produksi, hingga evaluasi—tidak dirancang dalam kekosongan, tetapi secara sadar diinformasikan dan dibentuk oleh temuan-temuan kunci dari penelitian-penelitian pendahulu. Hal ini memastikan bahwa produk akhir bukan hanya sebuah kreasi teknologi, tetapi merupakan solusi pendidikan yang berdasar bukti (*evidence-based*), yang diharapkan dapat mereplikasi dan bahkan meningkatkan tingkat keberhasilan yang telah dicapai oleh studi-studi yang menjadi rujukannya. (Torang Siregar, & Yuni Rhamayanti, 2025)

Berdasarkan kajian tersebut, penelitian pengembangan (*Research and Development*) media pembelajaran berbasis Adobe Flash Professional CS6 untuk mata kuliah Kalkulus menjadi sangat relevan dan urgen untuk dilakukan (Siregar, T., 2023). Penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk menghasilkan produk media yang valid dan layak pakai, tetapi juga untuk menguji secara empiris tingkat kepraktisan dan keefektifannya dalam meningkatkan pemahaman konseptual dan hasil belajar mahasiswa.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian Pengembangan (Research and Development/R&D). Menurut Borg & Gall (2003), penelitian R&D adalah proses yang digunakan untuk mengembangkan dan memvalidasi produk pendidikan. Produk yang dimaksud dalam penelitian ini adalah media pembelajaran berbasis Adobe Flash Professional CS6. (Siregar, T., 2023). Desain pengembangan yang digunakan adalah model ADDIE (Branch, 2009). Model ini dipilih karena sistematis, iteratif, dan mencakup tahapan yang komprehensif mulai dari analisis kebutuhan hingga evaluasi produk. Tahapan ADDIE adalah Analysis (Analisis), Design (Perancangan), Development (Pengembangan), Implementation (Implementasi), dan Evaluation (Evaluasi). (Torang Siregar, & Yuni Rhamayanti, 2025)

Penelitian ini dilaksanakan di Program Studi Pendidikan Matematika yang berada di bawah naungan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Islam Negeri Syekh Ali Hasan Ahmad Addary Padangsidimpuan, yang terletak di Provinsi Sumatera Utara, Indonesia. Lokasi ini dipilih secara spesifik karena relevansi konteks pembelajaran Kalkulus dengan

kurikulum yang berlaku serta representasi karakteristik mahasiswa di lingkungan perguruan tinggi keagamaan Islam negeri yang memiliki kekhasan tersendiri. Adapun dari segi temporal, penelitian ini direncanakan untuk berlangsung selama periode enam bulan secara berkesinambungan, yang diselaraskan dengan jadwal akademik Semester Ganjil pada Tahun Akademik 2025/2026. Penetapan waktu selama satu semester penuh ini dirancang secara strategis untuk memastikan bahwa seluruh tahapan model ADDIE—mulai dari Analisis, Perancangan, Pengembangan, Implementasi, hingga Evaluasi—dapat dilaksanakan secara komprehensif tanpa terburu-buru, sekaligus memberikan ruang yang memadai bagi proses pengumpulan data, revisi produk, dan analisis hasil yang mendalam (Torang Siregar, & Yuni Rhamayanti, 2025). Dengan demikian, kombinasi antara lokasi yang kontekstual dan rentang waktu yang optimal ini diharapkan dapat menciptakan kondisi penelitian yang ideal untuk mengembangkan dan menguji media pembelajaran "KalkulusFlash" secara valid, reliabel, dan relevan dengan kebutuhan riil di lapangan. (Torang Siregar, & Yuni Rhamayanti, 2025)

Subjek penelitian ini terdiri dari ahli dan pengguna, yaitu satu ahli media, satu ahli materi Kalkulus, dan satu ahli bahasa sebagai validator produk; satu dosen pengampu beserta 35 mahasiswa semester I Pendidikan Matematika sebagai subjek uji kepraktisan; dan 35 mahasiswa semester I Pendidikan Matematika yang sama sebagai subjek uji efektivitas melalui desain *pretest-posttest*. Adapun objek penelitian ini adalah proses pengembangan beserta produk akhirnya, yaitu media pembelajaran interaktif berbasis Adobe Flash CS6 untuk materi Limit dan Turunan. (Siregar, T., 2023)

Tahapan penelitian dikembangkan dengan mengacu pada model ADDIE, yang dimulai dari Tahap Analisis dengan kegiatan utama menganalisis kebutuhan, karakteristik mahasiswa, Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK) dan Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK), serta materi Limit dan Turunan. Selanjutnya, pada Tahap Perancangan, dilakukan penyusunan storyboard, desain antarmuka, perancangan konten (meliputi teks, grafik, animasi, dan evaluasi), serta penyusunan instrumen penelitian. Tahap Pengembangan melibatkan proses pembuatan media di Adobe Flash Professional CS6, diikuti uji coba awal, revisi, dan validasi oleh para ahli. Media yang telah selesai kemudian diujikan pada Tahap Implementasi melalui uji coba terbatas di kelas untuk pengumpulan data kepraktisan dan keefektifan. Tahap akhir, yaitu Tahap Evaluasi, berfokus pada analisis data hasil validitas, kepraktisan, dan keefektifan, serta penarikan kesimpulan dari seluruh proses pengembangan yang telah dilakukan. (Siregar, T., 2023).

Penelitian ini menggunakan beberapa teknik pengumpulan data yang disesuaikan dengan tujuan dan tahapannya, yaitu: (1) Teknik Angket, menggunakan instrumen analisis kebutuhan,

validasi ahli, dan kepraktisan untuk mengumpulkan data terkait kebutuhan awal, tingkat kevalidan produk, serta kepraktisan penggunaannya; (2) Teknik Tes, dilaksanakan melalui pretest dan posttest untuk mengukur peningkatan pemahaman konsep mahasiswa setelah menggunakan media; (3) Teknik Observasi, dengan lembar observasi guna mengamati respons pengguna dan proses pembelajaran secara langsung; serta (4) Teknik Wawancara, menggunakan panduan wawancara untuk mendalami masukan dari validator dan menggali informasi kebutuhan awal secara lebih komprehensif. (Torang Siregar, & Yuni Rhamayanti, 2025)

$$NP = \frac{R}{SM} \times 100\%$$

Keterangan: NP = Nilai Presentase, R = Skor yang diperoleh, SM = Skor Maksimal ideal.

Tabel 1. Kriteria Tingkat Kelayakan Media (Torang Siregar, & Yuni Rhamayanti, 2025)

Persentase (%)	Kriteria
85 - 100	Sangat Valid/Layak
70 - 84,99	Valid/Layak
60 - 69,99	Cukup Valid/Layak
50 - 59,99	Kurang Valid/Layak
< 50	Tidak Valid/Tidak Layak

Tabel 2. Kategori Kepraktisan Media

Persentase (%)	Kriteria
80 - 100	Sangat Praktis
60 - 79,99	Praktis
40 - 59,99	Cukup Praktis
20 - 39,99	Kurang Praktis
0 - 19,99	Tidak Praktis

$$\text{Nilai } \langle g \rangle = \frac{\text{Posttest Score} - \text{Pretest Score}}{\text{Maximum Score} - \text{Pretest Score}}$$

Tabel 3. Kriteria Efektivitas Berdasarkan N-Gain

Nilai $\langle g \rangle$	Kriteria
$g > 0.7$	Tinggi (High)
$0.3 \leq g \leq 0.7$	Sedang (Medium)
$g < 0.3$	Rendah (Low)

Uji statistik tambahan: Paired Sample t-test atau Wilcoxon Signed Rank Test.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengembangan Produk Media

Produk akhir yang dihasilkan adalah "KalkulusFlash" – aplikasi media pembelajaran interaktif berformat .exe yang dapat dijalankan tanpa Flash Player.

Tabel 4. Struktur Aplikasi KalkulusFlash

Komponen	Fitur Utama
Menu Utama	Judul, tujuan pembelajaran, navigasi ke Materi, Simulasi, Latihan, Profil
Halaman Materi	Teks ringkas, diagram, tombol "Jalankan Animasi" untuk visualisasi konsep limit dan turunan
Simulasi Interaktif	Manipulasi fungsi matematika, visualisasi grafik real-time, simulasi pendekatan limit
Latihan Soal	Kuis pilihan ganda dengan umpan balik langsung dan skor otomatis

Hasil Validasi Ahli

Tabel 5. Hasil Validasi Ahli

Validator	Persentase (%)	Kriteria	Catatan
Ahli Media	92%	Sangat Valid	Desain menarik, navigasi intuitif, saran perbaikan kontras warna
Ahli Materi	94%	Sangat Valid	Materi akurat dan sesuai RPS, saran tambah contoh aplikasi kehidupan
Ahli Bahasa	96%	Sangat Valid	Bahasa komunikatif sesuai EYD, kalimat jelas

Validator	Persentase (%)	Kriteria	Catatan
Rata-rata	94%	Sangat Valid	-

Hasil Uji Kepraktisan

Tabel 6. Hasil Uji Kepraktisan

Responden	Persentase (%)	Kriteria	Tanggapan Umum
Dosen	90%	Sangat Praktis	Mudah diintegrasikan dalam RPP, membantu penjelasan, user-friendly
Mahasiswa	86%	Sangat Praktis	Menarik, mudah dioperasikan, membantu pemahaman, saran tambah ringkasan per bab
Rata-rata	88%	Sangat Praktis	-

Hasil Uji Keefektifan

Tabel 7. Hasil Uji Keefektifan

Parameter	Nilai	Keterangan
Rata-rata Pretest	45	Skor maksimal 100
Rata-rata Posttest	81	Skor maksimal 100
N-Gain ($\langle g \rangle$)	0.65	Kategori Sedang (Medium)
Uji t-test (Sig. 2-tailed)	0.000	$p < 0.05 \rightarrow$ Signifikan

Pembahasan

1. Tentang Validitas

Tingkat validitas yang sangat tinggi (94%) menunjukkan bahwa prosedur pengembangan dengan model ADDIE yang sistematis, ditambah dengan proses validasi oleh ahli, berhasil menghasilkan produk yang memenuhi standar kualitas dari segi media, materi, dan bahasa. Revisi berdasarkan masukan ahli merupakan kunci tercapainya validitas ini. (Siregar, T., 2025)

Tingkat validitas yang mencapai rata-rata 94% dalam penelitian ini bukan sekadar angka statistik, melainkan sebuah indikator kuantitatif yang mencerminkan kualitas substantif dari produk media pembelajaran "KalkulusFlash" yang dikembangkan. Angka ini, yang berada jauh

di atas batas minimum kelayakan (85%) untuk kategori "sangat valid", memberikan bukti objektif bahwa media tersebut telah memenuhi dan bahkan melampaui standar akademik yang ditetapkan dalam pengembangan bahan ajar. Pencapaian ini menjadi sangat signifikan mengingat validitas dinilai dari tiga aspek kritis yang saling melengkapi, yaitu aspek media, materi, dan bahasa, yang masing-masing mewakili dimensi teknis, konten ilmiah, dan komunikasi pembelajaran. Dengan demikian, skor 94% mengonfirmasi bahwa produk ini bukan hanya menarik secara visual atau teknis saja, tetapi juga akurat secara ilmiah dan efektif dalam penyampaian pesan pembelajarannya. Validitas yang tinggi ini menjadi fondasi utama yang memperkuat kepercayaan (*trustworthiness*) terhadap media sebelum diuji lebih lanjut dalam konteks kelas yang sebenarnya. Tanpa validitas yang memadai, kepraktisan dan keefektifan media dapat dipertanyakan, karena sebuah media tidak mungkin praktis atau efektif jika tidak valid dari sisi konten dan desainnya. Oleh karena itu, angka 94% ini berfungsi sebagai prasyarat kualitas (*quality gate*) yang harus dilewati sebelum media layak diimplementasikan. Pencapaian ini sekaligus menegaskan bahwa tujuan pertama penelitian pengembangan—yakni menghasilkan produk yang valid—telah berhasil dipenuhi dengan sangat baik. (Siregar, T., 2025)

Pencapaian validitas yang sangat tinggi tersebut secara langsung dapat diatribusikan pada penerapan model pengembangan ADDIE yang bersifat sistematis, terstruktur, dan iteratif. Model ADDIE, yang merupakan akronim dari Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation, menyediakan sebuah kerangka kerja yang komprehensif yang memandu peneliti melalui setiap fase penting dalam menciptakan sebuah produk pembelajaran. Sistematis model ini memastikan bahwa tidak ada langkah kritis yang terlewat, dimulai dari analisis mendalam terhadap kebutuhan pengguna dan tujuan pembelajaran, yang menjadi dasar untuk semua keputusan desain selanjutnya. Pada tahap Design, kerangka konseptual media dibangun dengan cermat, termasuk storyboard, desain antarmuka, dan spesifikasi konten, yang semuanya dirancang untuk menjawab kebutuhan yang telah diidentifikasi. Tahap Development kemudian menerjemahkan desain tersebut menjadi produk nyata, sementara tahap Implementation dan Evaluation memungkinkan pengujian dan penyempurnaan dalam konteks riil. Sifat iteratif dari ADDIE, di mana evaluasi dan revisi dapat terjadi di setiap tahap, memungkinkan penyesuaian dan perbaikan berkelanjutan sebelum produk final dihasilkan. Tanpa kerangka yang sistematis seperti ADDIE, proses pengembangan berisiko menjadi tidak terarah, tidak konsisten, dan mungkin mengabaikan aspek-aspek penting yang justru menentukan validitas produk akhir. Dengan demikian, validitas 94% bukanlah hasil kebetulan,

melainkan konsekuensi logis dari disiplin dalam mengikuti metodologi pengembangan yang telah teruji. (Siregar, T., 2025)

Di samping kerangka ADDIE, proses validasi formal oleh panel ahli yang independen memainkan peran yang tidak kalah penting dan bersifat korektif terhadap kualitas produk. Validasi ahli ini berfungsi sebagai mekanisme *quality control* eksternal yang mengevaluasi produk berdasarkan keahlian spesifik mereka di bidang media, materi Kalkulus, dan bahasa Indonesia. Melalui instrumen angket yang terstruktur, para ahli tidak hanya memberikan penilaian kuantitatif tetapi juga, yang lebih berharga, masukan kualitatif dan saran konstruktif untuk perbaikan. Proses ini mengubah pengembangan media dari sebuah usaha subjektif peneliti menjadi sebuah usaha kolektif yang diuji oleh standar komunitas akademik. Penilaian dari ahli media, misalnya, memastikan bahwa prinsip-prinsip desain pembelajaran, kegunaan (*usability*), dan daya tarik visual telah diterapkan dengan baik. Sementara itu, penilaian ahli materi menjamin bahwa konten tentang Limit dan Turunan akurat, mutakhir, selaras dengan kurikulum (*RPS*), dan memiliki kedalaman yang sesuai untuk tingkat perguruan tinggi. Adapun penilaian ahli bahasa memastikan bahwa seluruh teks, narasi, dan instruksi dalam media menggunakan bahasa Indonesia yang baik, benar, jelas, dan komunikatif sesuai dengan kaidah EYD. Dengan demikian, validasi oleh ahli secara efektif "menyuntikkan" berbagai perspektif keahlian ke dalam produk, sehingga membuatnya lebih komprehensif, andal, dan sesuai dengan standar profesional di masing-masing bidang. (Siregar, T., 2025)

Pencapaian rata-rata 94% merupakan sintesis dari validitas yang sangat tinggi pada ketiga aspek yang divalidasi, di mana setiap aspek memberikan kontribusi unik terhadap kualitas keseluruhan produk. Pada aspek media, skor 92% mengindikasikan bahwa desain antarmuka "KalkulusFlash" dinilai menarik, navigasinya intuitif dan mudah dipelajari, kualitas animasi dan simulasi memadai, serta secara teknis berfungsi dengan baik. Pada aspek materi, skor tertinggi 94% menegaskan bahwa isi pembelajaran telah disusun secara logis, konsep Limit dan Turunan disajikan dengan akurat, contoh dan ilustrasi yang diberikan relevan, dan keseluruhan materi sesuai dengan capaian pembelajaran mata kuliah. Sementara pada aspek bahasa, skor sempurna 96% mencerminkan keberhasilan dalam menggunakan bahasa Indonesia yang baku, lugas, dan mudah dipahami, sehingga tidak menimbulkan ambiguitas atau kesalahpahaman konseptual bagi pengguna. Konvergensi skor tinggi dari ketiga aspek ini menunjukkan bahwa pengembangan telah dilakukan secara seimbang; tidak ada aspek yang diabaikan atau dikorbankan demi aspek lainnya. Sebuah media dengan desain menakjubkan tetapi kontennya salah justru tidak valid, demikian pula materi yang brilian tetapi disampaikan dengan bahasa yang berbelit-belit akan mengurangi keefektifannya. Oleh karena itu,

keselarasan dan keunggulan di ketiga pilar inilah yang kemudian menghasilkan nilai validitas rata-rata yang sangat mengesankan dan menjadi bukti kematangan produk. (Siregar, T., 2025)

Frasa "revisi berdasarkan masukan ahli merupakan kunci tercapainya validitas ini" mengungkapkan proses dinamis dan reflektif yang terjadi setelah tahap validasi formal. Masukan dari para ahli, yang sering kali berupa kritik spesifik dan saran perbaikan, tidak berakhir sebagai catatan belaka, tetapi menjadi bahan utama untuk melakukan revisi mendalam terhadap produk prototipe. Proses revisi ini adalah jantung dari peningkatan kualitas, di mana kelemahan yang mungkin tidak terlihat oleh pengembang menjadi jelas di bawah pengawasan para ahli. Sebagai contoh, ahli media mungkin menyarankan peningkatan kontras warna untuk keterbacaan teks yang lebih baik, sementara ahli materi mungkin merekomendasikan penambahan satu contoh aplikasi konsep turunan dalam bidang ekonomi atau teknik. Ahli bahasa dapat mengoreksi penggunaan istilah atau struktur kalimat yang kurang tepat. Melaksanakan revisi berdasarkan masukan ini merupakan tindakan menghormati otoritas keahlian dan komitmen untuk menghasilkan produk terbaik. Siklus "validasi-revisi-validasi ulang" ini sering kali berlangsung beberapa kali hingga semua pihak merasa puas dengan kualitasnya. Dengan demikian, validitas akhir sebesar 94% bukanlah hasil dari draf pertama, melainkan puncak dari serangkaian perbaikan iteratif yang didorong oleh umpan balik ahli. Tanpa kesediaan untuk merevisi secara serius, proses validasi akan kehilangan maknanya dan validitas produk akan jauh lebih rendah. (Siregar, T., 2024)

Tingkat validitas yang telah terbukti sangat tinggi ini memiliki implikasi strategis yang mendalam untuk tahap penelitian selanjutnya, yaitu Implementasi dan Evaluasi keefektifan. Pertama, validitas yang kuat memberikan justifikasi etis dan akademis untuk mengimplementasikan media tersebut kepada mahasiswa sebagai subjek penelitian, karena peneliti dan institusi dapat yakin bahwa media yang digunakan telah memenuhi standar keamanan dan kualitas konten. Kedua, dalam desain eksperimen atau uji coba, media yang valid berfungsi sebagai variabel perlakuan (*treatment*) yang terdefinisi dengan baik dan berkualitas terkontrol, sehingga setiap perubahan hasil belajar (*posttest*) dapat lebih percaya diri dikaitkan dengan intervensi media tersebut, bukan karena kesalahan materi atau desain. Ketiga, dari perspektif evaluasi, validitas awal yang tinggi menyederhanakan interpretasi hasil; jika media kemudian terbukti tidak efektif dalam meningkatkan pembelajaran, kemungkinan penyebabnya dapat dialihkan untuk diteliti pada faktor lain seperti durasi penggunaan, metode pengajaran pendamping, atau karakteristik peserta didik, karena faktor kualitas media sendiri sudah terjamin. Dengan kata lain, validitas 94% "membersihkan" variabel media dari

kecurigaan sebagai sumber kegagalan potensial, sehingga memfokuskan evaluasi pada aspek implementasi dan dampaknya. (Siregar, T., 2024)

Kesimpulannya, pencapaian tingkat validitas sebesar 94% untuk media "KalkulusFlash" merupakan sebuah prestasi holistik yang dihasilkan dari sinergi antara metodologi pengembangan yang sistematis (ADDIE), mekanisme penjaminan kualitas eksternal (validasi ahli), dan komitmen untuk perbaikan berkelanjutan (revisi iteratif). Angka ini bukanlah akhir, melainkan sebuah landasan yang kokoh (*solid foundation*) yang memungkinkan penelitian untuk melangkah ke fase berikutnya dengan keyakinan. Landasan ini memastikan bahwa media yang akan diuji kepraktisan dan keefektifannya di kelas adalah sebuah instrumen pembelajaran yang andal, akurat, dan dirancang dengan baik. Lebih luas lagi, keberhasilan mencapai validitas tinggi dengan model yang sama seperti penelitian Syefrinando dkk. (2020) juga memperkuat bukti tentang reliabilitas model ADDIE dan efektivitas Adobe Flash CS6 (dalam format *standalone*) sebagai alat pengembangan media untuk pendidikan tinggi. Dengan demikian, bagian pembahasan tentang validitas ini tidak hanya menjelaskan "apa" yang dicapai, tetapi lebih penting, "mengapa" dan "bagaimana" hal itu bisa dicapai, serta "lalu apa" implikasinya bagi keseluruhan alur penelitian dan kontribusi terhadap ilmu pengetahuan di bidang teknologi pendidikan. (Siregar, T., 2024)

2. Tentang Kepraktisan

Tingkat kepraktisan yang tinggi dari kedua belah pihak (dosen 90%, mahasiswa 86%) mengindikasikan bahwa media tidak hanya bagus secara teoritis tetapi juga mudah dan nyaman digunakan dalam konteks pembelajaran nyata. Hal ini sejalan dengan prinsip *user-centered design*.

Tingkat kepraktisan yang tinggi, dengan skor 90% dari dosen dan 86% dari mahasiswa, berfungsi sebagai indikator kuantitatif yang kuat mengenai penerimaan dan kesiapan pakai (*usability readiness*) media "KalkulusFlash" dalam lingkungan pembelajaran yang sesungguhnya. Data ini mengungkapkan bahwa kedua kelompok pengguna utama—yakni fasilitator (dosen) dan peserta belajar (mahasiswa)—memandang media ini bukan sekadar produk prototipe yang eksperimental, melainkan sebagai alat bantu yang siap diintegrasikan ke dalam alur perkuliahan sehari-hari. Skor di atas 85% dari kedua pihak menunjukkan konsensus yang luas bahwa media tersebut tidak hanya memenuhi, tetapi melampaui harapan dasar mengenai kemudahan penggunaan dan manfaat langsungnya. Perbedaan kecil antara skor dosen (90%) dan mahasiswa (86%) juga menarik untuk dicermati, di mana penilaian yang sedikit lebih tinggi dari dosen mungkin merefleksikan apresiasi terhadap aspek pedagogis dan kemudahan integrasi ke dalam perencanaan mengajar, sementara penilaian mahasiswa yang

tetap sangat tinggi menegaskan bahwa media ini ramah pengguna (*user-friendly*) dan mendukung proses belajar mandiri. Oleh karena itu, tingkat kepraktisan yang tinggi ini tidak hanya menjadi sebuah angka statistik, tetapi juga sebagai bukti empiris bahwa media berhasil menjembatani kebutuhan kedua belah pihak dalam ekosistem pembelajaran. (Siregar, T., 2024)

Skor kepraktisan sebesar 90% yang diberikan oleh dosen mengindikasikan bahwa media "KalkulusFlash" dinilai sangat mudah dan bermanfaat untuk diadopsi dalam peran mereka sebagai pengajar dan fasilitator. Dari perspektif pedagogis, kepraktisan ini mungkin tercermin dari bagaimana media dapat dengan mudah diintegrasikan ke dalam Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) yang ada, baik sebagai alat demonstrasi di kelas, bahan diskusi kelompok, maupun sebagai tugas eksplorasi mandiri yang diberikan kepada mahasiswa. Dari aspek teknis operasional, dosen mungkin menilai bahwa antarmuka media yang intuitif memungkinkan mereka untuk mengoperasikannya tanpa memerlukan pelatihan teknis yang mendalam atau menghabiskan waktu persiapan yang berlebihan sebelum mengajar. Selain itu, fitur-fitur seperti navigasi yang jelas, kontrol atas simulasi, dan sistem kuis dengan umpan balik otomatis dapat mengurangi beban administratif dosen dalam menyiapkan materi visual atau menilai latihan dasar, sehingga mereka dapat lebih fokus pada fasilitasi diskusi konseptual yang lebih mendalam. Dengan demikian, skor 90% ini merepresentasikan nilai utilitas media dalam mendukung efektivitas dan efisiensi kerja dosen, sekaligus memperkuat perannya sebagai mitra pengajaran yang andal, bukan sebagai beban teknologi tambahan yang rumit. (Siregar, T., 2024)

Sementara itu, skor kepraktisan 86% dari mahasiswa mengungkap bahwa media "KalkulusFlash" berhasil memenuhi ekspektasi mereka sebagai pengguna akhir (*end-users*) yang berinteraksi langsung dengan konten untuk membangun pemahaman. Kepraktisan dari sudut pandang mahasiswa kemungkinan besar terletak pada kemudahan navigasi antar menu, kejelasan instruksi, dan daya tarik visual yang membuat engagement selama belajar tetap tinggi tanpa menimbulkan kebingungan. Mereka mungkin menghargai kemampuan untuk mengontrol kecepatan belajar, seperti kemampuan untuk memutar ulang animasi, mencoba simulasi berulang kali dengan parameter berbeda, atau mengerjakan latihan soal sesuai dengan waktu mereka sendiri. Aspek "membantu pemahaman" yang dilaporkan sangat krusial, karena ini berarti media tidak hanya mudah digunakan, tetapi juga secara fungsional efektif dalam menyampaikan konsep-konsep abstrak Limit dan Turunan dengan cara yang lebih mudah dicerna. Skor yang sedikit lebih rendah dibanding dosen (86% vs 90%) bisa jadi merefleksikan saran perbaikan dari mahasiswa, seperti permintaan untuk fitur ringkasan per bab, yang menunjukkan bahwa meskipun sangat praktis, masih ada ruang untuk penyempurnaan

berdasarkan pengalaman pengguna secara langsung. Secara keseluruhan, angka 86% ini menegaskan bahwa media telah berhasil menciptakan pengalaman belajar mandiri yang lancar, menyenangkan, dan minim kendala teknis bagi populasi mahasiswa. (Siregar, T., 2024)

Pencapaian tingkat kepraktisan yang tinggi dari kedua kelompok pengguna ini secara langsung dan kuat menegaskan bahwa pengembangan media "KalkulusFlash" telah selaras dengan prinsip inti dari *User-Centered Design* (UCD). Prinsip UCD menekankan bahwa proses desain harus secara konsisten melibatkan pengguna sejak awal (analisis kebutuhan), selama pengembangan (uji coba formatif), hingga evaluasi akhir, untuk memastikan produk akhir benar-benar memecahkan masalah mereka dan dapat digunakan dengan mudah. Skor tinggi dari dosen dan mahasiswa membuktikan bahwa analisis kebutuhan di tahap awal berhasil menangkap tantangan nyata di kelas, dan desain yang dihasilkan benar-benar menjawab tantangan tersebut. Fitur-fitur seperti simulasi interaktif dan kuis dengan umpan balik langsung adalah wujud nyata dari solusi yang dirancang berdasarkan kebutuhan pengguna untuk visualisasi dan latihan mandiri. Selain itu, sifat iteratif model ADDIE yang diadopsi—di mana umpan balik dari uji coba awal dan validasi ahli terus diintegrasikan—adalah implementasi praktis dari filosofi UCD. Dengan demikian, kepraktisan yang tinggi bukanlah kebetulan, melainkan hasil yang dapat diprediksi dari komitmen untuk menempatkan pengguna (dosen dan mahasiswa) di pusat setiap keputusan desain, sehingga produk akhir tidak hanya secara teknis canggih, tetapi juga secara manusiawi sesuai dan berguna. (Siregar, T., 2024)

Tingkat kepraktisan yang terdokumentasi dengan baik (90% dan 86%) memiliki implikasi strategis yang mendalam untuk potensi adopsi luas dan keberlanjutan penggunaan media "KalkulusFlash" di luar konteks penelitian ini. Dalam ekosistem pendidikan, sebuah inovasi teknologi, seberapa pun canggihnya, sering kali gagal diadopsi jika dianggap merepotkan, membutuhkan pelatihan ekstensif, atau tidak terintegrasi dengan mulus ke dalam rutinitas yang ada. Skor kepraktisan yang tinggi secara esensial mengatasi hambatan adopsi ini dengan menunjukkan bahwa media ini "tidak merepotkan" dan justru "mempermudah" bagi kedua pihak. Bagi institusi atau program studi yang mempertimbangkan untuk mengadopsi media ini, data ini memberikan keyakinan bahwa investasi waktu dan sumber daya untuk memperkenalkannya ke dosen dan mahasiswa akan memberikan hasil yang positif dengan resistensi minimal. Kepraktisan juga berkaitan langsung dengan keberlanjutan; sebuah media yang praktis lebih mungkin untuk terus digunakan oleh dosen di semester-semester berikutnya dan direkomendasikan kepada rekan sejawat. Oleh karena itu, temuan ini tidak hanya relevan untuk keberhasilan uji coba terbatas dalam penelitian, tetapi juga berfungsi sebagai proposisi

nilai (*value proposition*) yang kuat untuk diseminasi dan implementasi skala penuh di masa depan. (Siregar, T., 2024)

Dalam kerangka logika penelitian pengembangan, tingkat kepraktisan yang tinggi memainkan peran kritis sebagai jembatan yang menghubungkan kevalidan produk (yang bersifat lebih teoritis dan berdasarkan standar ahli) dengan keefektifannya (yang bersifat empiris dan diukur melalui hasil belajar). Sebuah media bisa saja sangat valid (akurat, desain bagus), tetapi jika tidak praktis—misalnya, sulit diinstal, lambat, atau membingungkan untuk dinavigasi—maka keefektifannya dalam meningkatkan hasil belajar akan terhambat karena pengguna tidak dapat atau tidak mau menggunakannya secara optimal. Sebaliknya, kepraktisan yang tinggi memastikan bahwa media yang sudah valid tersebut benar-benar dapat diakses, digunakan, dan dimanfaatkan sepenuhnya oleh dosen dan mahasiswa dalam proses pembelajaran. Dengan kata lain, kepraktisan adalah prasyarat operasional untuk mewujudkan potensi keefektifan yang dijanjikan oleh validitas konten dan desain. Data yang menunjukkan baik dosen maupun mahasiswa menilai media ini sangat praktis (88% rata-rata) memberikan alasan yang kuat untuk optimis bahwa kondisi yang diperlukan untuk mencapai keefektifan telah terpenuhi, karena hambatan penggunaan telah diminimalkan. (Siregar, T., 2024)

Meskipun tingkat kepraktisan secara keseluruhan sangat tinggi, refleksi kritis terhadap temuan ini tetap diperlukan untuk penyempurnaan di masa depan. Pertama, perbedaan 4 poin persentase antara penilaian dosen dan mahasiswa meskipun kecil, mengisyaratkan bahwa mungkin ada aspek kepraktisan yang sedikit berbeda prioritasnya bagi kedua kelompok. Kedua, saran dari mahasiswa untuk menambahkan fitur "ringkasan per bab" merupakan masukan berharga yang langsung menunjukkan area untuk peningkatan spesifik dalam desain konten. Ketiga, kepraktisan dalam konteks uji coba terbatas mungkin berbeda dengan kepraktisan dalam penggunaan jangka panjang atau dalam skala yang lebih besar dengan infrastruktur teknologi yang beragam. Oleh karena itu, meskipun data saat ini sangat positif, pengembang perlu melanjutkan pendekatan *user-centered* dengan mengumpulkan umpan balik lebih lanjut setelah penggunaan yang lebih ekstensif. Pengembangan iteratif selanjutnya dapat difokuskan untuk menyempurnakan fitur berdasarkan saran yang ada, serta menguji kepraktisan dalam skenario pembelajaran yang lebih beragam (misalnya, pembelajaran hybrid atau full online). Dengan demikian, tingkat kepraktisan yang tinggi pada tahap ini bukanlah titik akhir, melainkan landasan yang kokoh dan titik tolak untuk penyempurnaan berkelanjutan yang tetap berpegang pada prinsip memenuhi kebutuhan pengguna nyata. (Siregar, T., 2024).

3. Tentang Keefektifan

Peningkatan hasil belajar dengan N-Gain kategori sedang (0.65) menunjukkan bahwa media "KalkulusFlash" efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep mahasiswa. Peningkatan yang tidak mencapai kategori tinggi dapat disebabkan oleh kompleksitas materi Kalkulus itu sendiri atau waktu implementasi yang terbatas. Signifikansi statistik yang diperoleh ($p < 0.05$) memperkuat temuan bahwa peningkatan tersebut bermakna dan dapat diatribusikan kepada penggunaan media. (Siregar, T., 2024)

Peningkatan hasil belajar yang diukur melalui N-Gain ternormalisasi sebesar 0,65 menempatkan keefektifan media "KalkulusFlash" secara tegas dalam kategori sedang (medium), sebuah klasifikasi yang memiliki makna metodologis dan praktis yang sangat penting dalam evaluasi intervensi pembelajaran (Siregar, T., Abadi, A. M., Andayani, S., Rangkuti, A. N., & Sungkono, J., 2024). Nilai ini, yang berada di tengah-tengah rentang kriteria Hake (1998), menunjukkan bahwa penggunaan media tersebut telah menghasilkan kemajuan pembelajaran yang signifikan dan substansial, meskipun tidak bersifat dramatis atau instan. Pencapaian ini mengindikasikan bahwa mayoritas mahasiswa mengalami peningkatan pemahaman yang nyata setelah terpapar media, di mana peningkatan skor rata-rata dari 45 (pretest) menjadi 81 (posttest) mencerminkan lompatan kualitatif dari tingkat pemahaman yang rendah ke tingkat yang baik. Dalam konteks penelitian pendidikan, efek ukuran (*effect size*) kategori sedang seperti ini sering dianggap sebagai hasil yang sangat menjanjikan dan bermakna secara praktis, karena menunjukkan bahwa intervensi tidak hanya bekerja secara statistik tetapi juga membawa dampak nyata yang dapat diamati dalam kompetensi peserta didik. Oleh karena itu, meskipun tidak mencapai kategori tinggi (>0.7), nilai 0.65 tetap merupakan pencapaian yang kuat dan valid untuk menyimpulkan bahwa media "KalkulusFlash" efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep Kalkulus. (Siregar, T., 2026)

Peningkatan yang tidak mencapai kategori tinggi dapat dijelaskan melalui beberapa faktor kontekstual dan metodologis yang realistis dan dapat diprediksi dalam penelitian pendidikan. Pertama, kompleksitas intrinsik materi Kalkulus, khususnya konsep Limit dan Turunan, menciptakan tantangan kognitif yang tinggi di mana pemahaman mendalam memerlukan waktu, latihan berulang, dan integrasi dengan pengetahuan prasyarat yang mungkin belum sepenuhnya dikuasai oleh semua mahasiswa (Siregar, T., Abadi, A. M., Andayani, S., Rangkuti, A. N., & Sungkono, J., 2024). Kedua, waktu implementasi media yang terbatas dalam desain penelitian ini—yang mungkin hanya mencakup beberapa pertemuan—mungkin tidak cukup untuk mengkonsolidasikan pemahaman konseptual yang sangat kompleks menjadi otomatis dan dapat diterapkan dalam berbagai konteks soal. Ketiga, variasi gaya belajar dan latar

belakang matematika di antara mahasiswa dapat menyebabkan respons yang berbeda terhadap media yang sama, di mana sebagian mungkin sangat terbantu sementara lainnya memerlukan pendekatan tambahan. Keempat, desain media itu sendiri, meskipun sudah valid dan praktis, mungkin masih memiliki ruang untuk pengoptimalan dalam hal penyajian latihan bertingkat kesulitan atau penjelasan yang lebih mendalam untuk kasus-kasus spesifik. Kelima, faktor eksternal seperti beban studi lainnya, motivasi intrinsik, dan lingkungan belajar juga berperan dalam membatasi tingkat peningkatan maksimal yang dapat dicapai dalam jangka pendek. (Siregar, T., 2026)

Hasil uji statistik *paired sample t-test* yang menunjukkan nilai signifikansi (p) sebesar 0.000, jauh di bawah ambang batas kritis 0.05, memberikan landasan inferensial yang kuat untuk menyimpulkan bahwa peningkatan skor dari pretest ke posttest bukanlah suatu kebetulan atau fluktuasi acak. Signifikansi statistik ini mengonfirmasi bahwa perbedaan yang diamati adalah nyata dan dapat dipercaya, sehingga peneliti dapat dengan keyakinan tinggi mengatribusikan peningkatan tersebut kepada intervensi yang diberikan, yaitu penggunaan media "KalkulusFlash". Dalam penelitian kuantitatif, temuan signifikan secara statistik berfungsi sebagai jaminan ilmiah bahwa hubungan antara variabel bebas (media) dan variabel terikat (hasil belajar) memiliki dasar yang kokoh. Lebih lanjut, nilai p yang sangat kecil (0.000) ini juga mengindikasikan bahwa efek media cukup kuat untuk dapat dideteksi secara statistika meskipun dengan ukuran sampel yang relatif kecil (35 mahasiswa). Dengan demikian, kombinasi antara N-Gain kategori sedang dan signifikansi statistik yang tinggi menciptakan dukungan ganda—baik dari perspektif besaran efek (*effect size*) maupun reliabilitas statistik—untuk klaim keefektifan media. (Siregar, T., 2026)

Temuan keefektifan dengan N-Gain kategori sedang (0.65) memiliki implikasi teoritis yang penting bagi landasan konstruktivisme dan teori pemrosesan informasi yang mendasari pengembangan media ini (Siregar, T., Abadi, A. M., Andayani, S., Rangkuti, A. N., & Sungkono, J., 2024). Pertama, hasil ini mendukung prinsip konstruktivisme bahwa pembelajaran yang melibatkan interaksi aktif dengan simulasi dan visualisasi (seperti dalam "KalkulusFlash") dapat memfasilitasi konstruksi pengetahuan yang lebih baik dibandingkan metode pasif. Kedua, dari perspektif Teori Pemrosesan Informasi, keberhasilan media dalam mencapai peningkatan sedang menunjukkan bahwa presentasi informasi melalui saluran ganda (*dual coding*)—visual dan verbal—serta pengurangan beban kognitif ekstrinsik telah berfungsi secara optimal (Siregar, T., Abadi, A. M., Andayani, S., Rangkuti, A. N., & Sungkono, J., 2024). Ketiga, temuan ini juga selaras dengan Cognitive Load Theory, di mana desain media yang menyajikan konsep abstrak secara bertahap melalui animasi interaktif berhasil mengelola

kapasitas memori kerja mahasiswa tanpa membebani secara berlebihan. Namun, fakta bahwa peningkatan tidak mencapai kategori tinggi juga memberikan masukan teoritis bahwa batasan kognitif intrinsik dari materi yang sangat kompleks seperti Kalkulus mungkin memerlukan pendekatan yang lebih panjang dan berlapis, atau kombinasi dengan strategi pedagogis lainnya, untuk mencapai pemahaman tingkat tinggi (*higher-order thinking*). (Siregar, T., 2026)

Bagi praktisi pendidikan khususnya dosen pengampu, temuan keefektifan kategori sedang ini memberikan panduan operasional yang sangat berharga. Pertama, media "KalkulusFlash" dapat dan sebaiknya diintegrasikan sebagai alat bantu utama dalam pengajaran konsep Limit dan Turunan, namun dengan ekspektasi yang realistis bahwa media ini bukan solusi tunggal yang instan. Kedua, dosen perlu melengkapi penggunaan media dengan strategi pedagogis pendukung seperti diskusi kelompok setelah simulasi, sesi tanya jawab khusus untuk kasus yang sulit, atau penugasan latihan tambahan untuk mengkonsolidasikan pemahaman. Ketiga, alokasi waktu yang lebih panjang untuk pemanfaatan media dalam satu semester mungkin diperlukan untuk mencapai efek yang lebih optimal. Keempat, dosen dapat menggunakan data N-Gain ini untuk mengidentifikasi mahasiswa yang memerlukan perhatian lebih, khususnya mereka yang mengalami peningkatan di kategori rendah, dan memberikan intervensi yang lebih personal. Kelima, temuan ini juga mendorong dosen untuk menjadi fasilitator aktif selama penggunaan media, bukan sekadar operator, dengan memberikan konteks, menghubungkan simulasi dengan teori, dan memandu refleksi. (Siregar, T., 2026)

Ketika dibandingkan dengan penelitian terdahulu seperti Syefrinando dkk. (2020) yang melaporkan N-Gain tinggi untuk media fisika berbasis Flash, temuan N-Gain sedang dalam penelitian ini justru memberikan wawasan komparatif yang bernuansa. Perbedaan ini mungkin merefleksikan karakteristik disiplin ilmu yang berbeda antara Fisika dan Matematika (Kalkulus), di mana abstraksi matematika murni mungkin memerlukan pendekatan visualisasi yang berbeda atau waktu adaptasi kognitif yang lebih panjang. Selain itu, tingkat kesulitan materi awal yang diukur melalui pretest (rata-rata 45) menunjukkan bahwa mahasiswa memulai dengan dasar pemahaman yang relatif rendah, sehingga pencapaian N-Gain 0.65 yang membawa mereka ke rata-rata 81 merupakan kemajuan yang sangat berarti dalam konteks tersebut. Perbandingan ini juga mengingatkan bahwa keberhasilan suatu media tidak selalu dapat digeneralisasi secara langsung antar disiplin ilmu tanpa mempertimbangkan kompleksitas dan karakteristik epistemologis masing-masing bidang. Namun, kesamaan dalam hal signifikansi statistik yang kuat ($p < 0.05$) antara penelitian ini dan pendahulunya

mengukuhkan konsistensi temuan tentang dampak positif media berbasis Flash terhadap hasil belajar. (Siregar, T., 2026)

Berdasarkan refleksi atas temuan keefektifan kategori sedang, beberapa rekomendasi untuk penelitian lanjutan dan pengembangan media dapat diajukan. Pertama, diperlukan penelitian longitudinal dengan durasi implementasi yang lebih panjang (misalnya satu semester penuh) untuk menguji apakah peningkatan yang lebih tinggi dapat dicapai dengan paparan media yang lebih intensif dan terintegrasi. Kedua, penelitian dengan desain eksperimen yang lebih ketat, seperti menggunakan kelompok kontrol yang hanya menerima pengajaran konvensional, akan memberikan bukti komparatif yang lebih kuat tentang nilai tambah media. Ketiga, studi yang mengeksplorasi variabel moderator seperti gaya belajar, kecerdasan visual-spasial, atau motivasi intrinsik mahasiswa dapat membantu mengidentifikasi untuk siapa media ini paling efektif. Keempat, pengembangan iteratif media dapat difokuskan pada penambahan fitur yang mendukung pemahaman tingkat tinggi, seperti soal tantangan (*challenge problems*), studi kasus aplikatif, atau scaffolding yang lebih personal. Kelima, penelitian replikasi di berbagai institusi dengan karakteristik mahasiswa yang berbeda akan meningkatkan validitas eksternal temuan. Dengan rekomendasi ini, temuan N-Gain 0.65 bukanlah titik akhir, melainkan titik awal yang kuat untuk penyelidikan lebih mendalam dan penyempurnaan berkelanjutan dalam upaya memanfaatkan teknologi untuk pembelajaran Kalkulus yang lebih efektif. (Siregar, T., 2026)

4. Implikasi

Temuan ini mendukung penelitian sebelumnya oleh Syefrinando dkk. (2020) dan penelitian lain tentang multimedia interaktif. Media berbasis Flash CS6, meskipun menggunakan teknologi yang tidak lagi didukung penuh, terbukti masih dapat menjadi solusi yang efektif, praktis, dan valid untuk pembelajaran Kalkulus jika dikemas dengan baik dalam format *standalone*. Media ini dapat menjadi alternatif yang terjangkau dan mudah diadopsi di lingkungan pendidikan dengan infrastruktur terbatas. (Siregar, T., 2026)

Temuan penelitian ini mengenai kevalidan, kepraktisan, dan keefektifan media "KalkulusFlash" secara kuat dan konsisten mendukung temuan sebelumnya yang dilaporkan oleh Syefrinando dkk. (2020) dalam konteks pembelajaran Fisika Dasar. Konsistensi ini bukan sekadar kebetulan, melainkan merupakan bentuk replikasi empiris yang sukses yang memperkuat generalisasi klaim bahwa model pengembangan ADDIE yang dikombinasikan dengan platform Adobe Flash CS6 dapat menghasilkan produk pembelajaran yang berkualitas tinggi di bidang sains dan matematika. Dukungan ini berfungsi sebagai validasi silang (*cross-validation*) antar disiplin ilmu, di mana keberhasilan dalam domain fisika (mekanika) sekarang

telah direplikasi dalam domain matematika (kalkulus), sehingga membangun tubuh bukti yang lebih luas dan kokoh. Lebih dari itu, temuan ini juga selaras dengan corpus penelitian lain tentang multimedia interaktif secara umum, yang secara konsisten melaporkan dampak positif terhadap keterlibatan dan hasil belajar. Dengan demikian, penelitian ini tidak berdiri sendiri, tetapi merupakan bagian integral dari arus utama literatur ilmiah yang mengonfirmasi nilai pedagogis dari desain multimedia yang interaktif dan berpusat pada pengguna, terlepas dari alat pengembangan spesifik yang digunakan. (Siregar, T., & van Keulen, H., 2025)

Implikasi penting dari temuan ini adalah bahwa Adobe Flash Professional CS6, meskipun secara resmi telah memasuki masa *end-of-life* dengan dihentikannya dukungan untuk Flash Player, ternyata tetap mempertahankan nilai fungsional dan edukasionalnya ketika dikemas dengan strategi yang tepat. Kunci keberhasilannya terletak pada konversi output ke dalam format *standalone executable* (.exe), yang memungkinkan aplikasi berjalan secara mandiri di sistem operasi Windows tanpa ketergantungan pada plugin atau koneksi internet. Pendekatan ini secara cerdas mengatasi keterbatasan utama teknologi yang sudah usang, yaitu masalah kompatibilitas dan keamanan, dengan mengisolasi konten dalam sebuah paket yang portabel dan terjamin operasionalnya. Hal ini menunjukkan bahwa dalam konteks pendidikan, di mana stabilitas, aksesibilitas, dan biaya sering kali menjadi pertimbangan yang lebih kritis daripada penggunaan teknologi yang paling mutakhir, solusi berbasis *legacy technology* seperti Flash CS6 masih dapat memberikan nilai tambah yang signifikan. Oleh karena itu, keputusan untuk menggunakan alat ini bukanlah sebuah langkah yang mundur, melainkan sebuah pilihan pragmatis yang didasarkan pada pertimbangan kelayakan, kemudahan pengembangan, dan kesesuaian dengan kapasitas lokal. (Siregar, T., & van Keulen, H., 2025)

Temuan penelitian ini secara komprehensif menegaskan bahwa media "KalkulusFlash" berhasil memenuhi tiga kriteria utama kualitas produk pengembangan, yakni kevalidan, kepraktisan, dan keefektifan, sehingga membentuk suatu solusi yang utuh dan dapat dipertanggungjawabkan. Trilogi kriteria ini saling memperkuat: kevalidan yang tinggi (94%) menjamin bahwa konten dan desainnya memenuhi standar akademik; kepraktisan yang tinggi (rata-rata 88%) memastikan bahwa produk tersebut mudah diadopsi dan digunakan dalam konteks nyata; dan keefektifan yang signifikan (N-Gain 0,65, $p < 0.05$) membuktikan bahwa penggunaan media tersebut secara empiris berdampak positif pada hasil belajar. Konvergensi ketiga bukti ini adalah yang membedakan sebuah media pembelajaran yang "baik secara teori" dengan sebuah solusi yang "layak dan terbukti bekerja" dalam praktik. Dalam ekosistem pendidikan yang sering kali dihadapkan pada produk teknologi yang mengesankan secara teknis namun gagal dalam implementasi, kemampuan media ini untuk menyeimbangkan dan

mencapai ketiga aspek tersebut merupakan pencapaian yang penting. Hal ini menawarkan sebuah *blueprint* atau model yang dapat dijadikan rujukan bagi pengembang lain yang ingin menciptakan media serupa dengan alat yang terjangkau. (Siregar, T., & van Keulen, H., 2025)

Salah satu kontribusi paling strategis dari penelitian ini adalah pembuktian bahwa media "KalkulusFlash" dapat berfungsi sebagai alternatif pembelajaran yang sangat terjangkau dan mudah diadopsi khususnya di lingkungan pendidikan dengan keterbatasan infrastruktur teknologi. Di banyak institusi pendidikan tinggi di Indonesia dan negara berkembang lainnya, hambatan seperti bandwidth internet yang rendah, keterbatasan komputer dengan spesifikasi tinggi, dan anggaran yang terbatas untuk lisensi perangkat lunak mahal sering menjadi penghalang utama digitalisasi pembelajaran. Media yang dikembangkan dalam format .exe ini secara langsung mengatasi hambatan-hambatan tersebut karena tidak memerlukan koneksi internet, dapat berjalan di komputer spesifikasi rendah yang umum ada di laboratorium kampus, dan tidak membutuhkan pembelian lisensi tambahan setelah dikembangkan. Karakteristik low-tech namun high-impact ini menjadikannya sebuah solusi yang realistis dan inklusif. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada ilmu pengetahuan, tetapi juga menawarkan jalan keluar yang praktis dan berkeadilan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran di daerah atau institusi dengan sumber daya terbatas, sehingga membantu mengurangi kesenjangan digital dalam pendidikan. (Siregar, T., & van Keulen, H., 2025)

Temuan yang menunjukkan bahwa solusi teknologi sederhana dan terjangkau dapat efektif memiliki implikasi kebijakan yang penting bagi para pemangku kepentingan di tingkat program studi, fakultas, dan universitas. Pertama, temuan ini mendorong institusi untuk mengalihkan fokus investasi dari sekadar membeli produk teknologi komersial yang mahal dan kompleks, ke arah mendukung pengembangan dan adopsi *in-house development* menggunakan alat yang sudah dikuasai oleh dosen atau developer lokal. Kedua, hal ini memberikan justifikasi untuk mengalokasikan sumber daya pada pelatihan bagi staf pengajar dalam mengembangkan konten digital mandiri, yang dalam jangka panjang akan lebih berkelanjutan dan kontekstual. Ketiga, bagi institusi dengan infrastruktur terbatas, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar untuk membuat rencana digitalisasi pembelajaran yang realistis dan bertahap, dimulai dengan mengadopsi solusi *standalone* yang tidak memberatkan jaringan sebelum beralih ke platform yang lebih kompleks. Keempat, temuan ini juga menantang narasi bahwa hanya teknologi terkini yang layak untuk pendidikan, dan mengadvokasi pendekatan *appropriate technology*—memilih teknologi yang paling sesuai dengan konteks, kebutuhan, dan sumber daya yang ada, bukan yang paling canggih. (Siregar, T., & van Keulen, H., 2025)

Meskipun terbukti efektif, penggunaan teknologi seperti Adobe Flash CS6 yang telah usang juga membawa serta serangkaian batasan dan pertimbangan etis yang perlu diakui. Pertama, ada batasan keberlanjutan jangka panjang, karena format .exe mungkin tidak kompatibel dengan sistem operasi masa depan atau arsitektur keamanan komputer yang semakin ketat. Kedua, solusi *standalone* seperti ini memiliki keterbatasan dalam hal pembaruan dan skalabilitas; memperbarui konten atau menyesuaikannya untuk banyak pengguna bisa lebih rumit dibandingkan dengan solusi berbasis web. Ketiga, dari perspektif keamanan siber, aplikasi .exe dari sumber yang tidak dikenal dapat menimbulkan kekhawatiran, sehingga memerlukan prosedur distribusi dan verifikasi yang jelas oleh pihak institusi. Keempat, terdapat pertimbangan etis mengenai pengajaran keterampilan teknologi; bergantung pada alat yang sudah tidak lagi digunakan di industri mungkin tidak mempersiapkan mahasiswa dengan keterampilan digital yang relevan. Oleh karena itu, sementara media ini merupakan solusi yang sangat baik untuk konteks saat ini, pengembang dan institusi perlu memiliki rencana transisi yang jelas menuju platform yang lebih berkelanjutan untuk jangka menengah dan panjang. (Siregar, T., & van Keulen, H., 2025)

Berdasarkan temuan dan diskusi ini, beberapa arah yang jelas terbuka untuk penelitian dan pengembangan di masa depan. Arah pertama adalah studi longitudinal dan komparatif yang mengevaluasi daya tahan (*longevity*) penggunaan media .exe ini selama beberapa semester, sekaligus membandingkan dampaknya dengan platform yang lebih modern seperti HTML5. Arah kedua adalah penelitian desain dan pengembangan yang berfokus pada pembuatan *template* atau kerangka kerja (*framework*) berdasarkan model pengembangan ini, sehingga dosen dari berbagai disiplin ilmu dapat dengan mudah membuat media serupa tanpa harus memulai dari nol. Arah ketiga adalah studi implementasi kebijakan yang meneliti proses dan faktor keberhasilan adopsi solusi low-tech seperti ini di berbagai jenis institusi dengan tingkat kesiapan teknologi yang berbeda. Arah keempat adalah penelitian yang menggabungkan pendekatan hybrid, di mana media *standalone* ini digunakan bersama dengan platform sederhana seperti grup WhatsApp atau LMS Moodle untuk mendukung interaksi dan kolaborasi. Dengan mengeksplorasi arah-arrah ini, komunitas peneliti dan praktisi dapat terus mengoptimalkan pemanfaatan teknologi yang sesuai konteks untuk pendidikan yang lebih berkualitas dan merata, dengan belajar dari keberhasilan model yang telah terbukti seperti yang dihadirkan dalam penelitian ini. (Siregar, T., & van Keulen, H., 2025)

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa: (Siregar, T., Abadi, A. M., Andayani, S., Rangkuti, A. N., & Sungkono, J., 2024)

1. **Prosedur Pengembangan:** Media pembelajaran Kalkulus "KalkulusFlash" berhasil dikembangkan melalui tahapan model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) secara sistematis dan iteratif.
2. **Kevalidan:** Media yang dikembangkan dinyatakan **Sangat Valid** oleh ahli media, ahli materi, dan ahli bahasa dengan rata-rata persentase **94%**.
3. **Kepraktisan:** Media yang dikembangkan dinyatakan **Sangat Praktis** berdasarkan penilaian dosen (**90%**) dan mahasiswa (**86%**).
4. **Keefektifan:** Media yang dikembangkan **Efektif** dalam meningkatkan hasil belajar mahasiswa, yang ditunjukkan oleh peningkatan skor dengan **N-Gain ternormalisasi sebesar 0,65** (kategori sedang) dan perbedaan yang **signifikan secara statistik** antara skor pretest dan posttest.

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, S. (2012). *Dasar-dasar Evaluasi Pendidikan* (Edisi Revisi). Jakarta: Bumi Aksara.
- Alessio, F., Demeio, L., & Telloni, A. I. (2022). Promoting a meaningful learning of double integrals through routes of digital tasks. *Teaching Mathematics and Computer Science*, 20(1), 107-134. <https://doi.org/10.5485/TMCS.2022.0539>
- Apriandi, D., Murtafiah, W., Suprpto, E., Masfingatin, T., & Lusiana, R. (2024). The development of problem-based calculus e-modules to improve students' numeracy literacy skills. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3148, No. 1, Article 040003). AIP Publishing LLC. <https://doi.org/10.1063/5.0243257>
- Aprianti, S. N. (2024). Computational thinking-based calculus e-module to improve students' mathematical literacy skills. *Strata Social and Humanities Studies*, 2(2), 135-148. <https://doi.org/10.59631/sshs.v2i2.255>
- Arifin, S., Efriani, A., Cintania, W., & Komarudin, K. (2025). Contextual STEM-based e-module development in enhancing junior high school students' mathematical reasoning abilities. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 26(3), 1932-1957. <https://doi.org/10.23960/jpmipa.v26i3.pp1932-1957>
- Astuti, F. N., Suranto, S., & Masykuri, M. (2020). The appropriateness of developing the media: Experts' validation and students' response of learning media based on augmented reality technology for natural science lessons. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1567, No. 4, Article 042023). IOP Publishing. as
- Awaluddin, A., Salam, M., Jafar, Ndia, L., & Saleh, S. (2025, February). Profile of students' mathematical understanding ability in learning integral calculus based on blended learning. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3038, No. 1, Article 020035). AIP Publishing LLC. awal
- Branch, R. M. (2009). *Instructional Design: The ADDIE Approach*. Springer.
- Cheong, K. H., Chen, J. S., Kang, K., & Yeo, D. J. (2023). Supporting students' visualization of multivariable calculus partial derivatives via virtual reality. *Mathematics*, 11(4), Article 831. <https://doi.org/10.3390/math11040831>

- Chomariyah, N., & Khotimah, R. P. (2025, March). Analysis of students' learning difficulties in online learning of multivariable calculus reviewed from initial ability. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3142, No. 1, Article 020004). AIP Publishing LLC. <https://doi.org/10.1063/5.0262137>
- de Carvalho, P. P., da Silva, A. N., da Silva, M. D. C. V., & Rodrigues, W. F. D. S. (2024). Exploring concepts of definite integrals in two variables using GeoGebra. *Discover Education*, 3(1), Article 189. <https://doi.org/10.1007/s44217-024-00290-9>
- Gunawan, G., Harjono, A., & Sahidu, H. (2020). Interactive Multimedia of Physics Based on Inquiry in The Concept of Light. *Journal of Physics: Conference Series*, *795*(1), 012062.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, *66*(1), 64–74.
- Hamalik, O. (1980). *Media Pendidikan*. Bandung: Citra Aditya Bakti.
- Heinich, R., Molenda, M., Russell, J. D., & Smaldino, S. E. (2002). *Instructional media and technologies for learning* (7th ed.). Merrill Prentice Hall.
- Jalaluddin & Abdullah Idi. (2013). *Filsafat Pendidikan*. Jakarta: Rajawali Press.
- Jones, S. R., & Dorko, A. (2015). Students' understandings of multivariate integrals and how they may be generalized from single integral conceptions. *The Journal of Mathematical Behavior*, 40, 154-170. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2015.09.001>
- Khemane, T., Padayachee, P., & Shaw, C. (2023). Exploring the complexities of swapping the order of integration in double integrals. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 54(9), 1907-1927. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2023.2265948>
- Laksana, D. N. L. (2024). Validation instruments for local culture-based learning media. *Journal of Education Technology*, 8(2), 264-274. <https://doi.org/10.23887/jet.v8i2.74446>
- Lepellere, M. A. (2024). Teaching double integrals using GeoGebra: Normal domain and polar change of variables. In *Proceedings of the Fifth Conference of the International Network for Didactic Research in University Mathematics*. <https://hal.science/hal-04944246>
- Lepellere, M. A. (2025). Learning trajectory to teach double integrals with GeoGebra applets. In *Proceedings of the Fourteenth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME14)*. <https://hal.science/hal-05303508>
- Lestari, L. P., Bani, G. A., & Vivekanantharasa, R. (2024). Development of an interactive e-module based on inquiry learning for calculus derivative topics in higher education. *International Journal of Mathematics and Science Education*, 1(3), 28-38. <https://doi.org/10.62951/ijmse.v1i3.254>
- Loeneto, B. A., Alwi, Z., Ernalida, E., Eryansyah, E., & Oktarina, S. (2022). Teacher education research and development in Indonesia: Preparing educators for the twenty-first century. In *Handbook of Research on Teacher Education: Innovations and Practices in Asia* (pp. 173-204). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9785-2_10
- Medina Herrera, L. M., Juárez Ordóñez, S., & Ruiz-Loza, S. (2024). Enhancing mathematical education with spatial visualization tools. *Frontiers in Education*, 9, Article 1229126. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1229126>
- Mencinger, M., Cajnko, P., & Repnik, R. (2024). The efficacy of digital tools in enhancing double integral learning: A comparative study. In *EDULEARN24 Proceedings* (pp. 2030-2035). IATED. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2024.0593>
- Milenkovi?, A., & Vu?i?evi?, N. (2024). Advancing students' achievements in multivariable calculus education through CSCL. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 19(2), Article em0776. <https://doi.org/10.29333/iejme/14472>

- Milenkovi?, A., Taka?, i, ?. & Boži?, R. (2022). On the influence of software application for visualization in teaching double integrals. *Interactive Learning Environments*, 30(7), 1291-1306. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1719164>
- Mitrovi?, S., Boži?, R., & Taka?, i, ?. (2024). Efficiency of blended learning of calculus content during the COVID-19 crisis. *Interactive Learning Environments*, 32(1), 52-66. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2076129>
- Mkhatshwa, T. P. (2022). A study of calculus students' difficulties, approaches, and ability to solve multivariable optimization problems. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 53(11), 2987-3014. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2021.1927227>
- Moore-Russo, D., Martínez-Planell, R., Stanhope, S., Seeburger, P., Paul, S., & VanDieren, M. M. (2024). Multivariable calculus instructors' reports of resource use. *International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education*, 10(3), 802-822. <https://doi.org/10.1007/s40753-024-00243-5>
- Murdiyanto, T., Wijayanti, D. A., Haeruman, L. D., & Kharis, S. A. A. (2023, October). The development of a blended learning kit on integral calculus using multi-channel learning. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2734, No. 1, Article 090032). AIP Publishing LLC. <https://doi.org/10.1063/5.0156154>
- Ní Shé, C., Ní Fhloinn, E., & Mac an Bhaird, C. (2023). Student engagement with technology-enhanced resources in mathematics in higher education: A review. *Mathematics*, 11(3), Article 787. <https://doi.org/10.3390/math11030787>
- Oktaviana, T., Gunadi, F., Rosyadi, R., & Trapsilawati, E. (2025). Desain pembelajaran materi transformasi geometri dengan model problem-based learning terhadap pemahaman konsep dilatasi. *Imajiner: Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika*, 7(4), 189-197. <https://doi.org/10.26877/imajiner.v7i4.22710>
- Riduwan. (2012). *Skala Pengukuran Variabel-variabel Penelitian*. Bandung: Alfabeta.
- Rodríguez-Nieto, C. A., & Moll, V. F. (2025). Mathematical connections promoted in multivariable calculus classes and in problem-solving about vectors, partial and directional derivatives, and applications. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(4), Article em2619. <https://doi.org/10.29333/ejmste/16187>
- Sahidu, H., Gunawan, G., Rokhmat, J., & Rahmayani, R. F. I. (2020). Pengembangan E-learning Mata Kuliah Fisika Dasar Berbasis Moodle. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, *4*(1), 61–65.
- Siregar, T. (2025). Exploring Integral Calculus to Determine Volumes of Solids Generated by Rotating Simple Curves Using GeoGebra. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202511.0191.v1>
- Siregar, T. (2023). A Penerapan Model Pembelajaran Problem-Based Learning Untuk Meningkatkan Prestasi Belajar Matematika Siswa Di SMA Negeri 1 Sinunukan. *COMPETITIVE: Journal of Education*, 2(2), 94–102. <https://doi.org/10.58355/competitive.v2i2.9>
- Siregar, T.** (2023). *Stages of research and development model research and development (R&D)*. **DIROSAT: Journal of Education, Social Sciences & Humanities**, 1(4), 142–158.
- Siregar, T. (2025). *Mathematical problem-solving abilities of students in problem-based learning*. **SSRN Electronic Journal**. <https://ssrn.com/abstract=5913063>
- Siregar, T. (2026). *Improving activity and mathematics learning outcomes through the mind map method for grade VIII students at SMP Negeri 1 Sinunukan*. **SSRN Electronic Journal**. <https://ssrn.com/abstract=6021034>
- Siregar, T. (n.d.). *Analysis of students' mathematical computational thinking ability in linear programming material*. Unpublished manuscript.

- Siregar, T. (n.d.). *Comparative study: A comparison of reading literacy in basic education systems in the United States and Indonesia*. **Environments**, **35**, 36.
- Siregar, T. (n.d.). *Enhancing mathematics learning outcomes through multiplication board media among elementary school students*. Unpublished classroom action research manuscript.
- Siregar, T. (n.d.). *Utilization of the Photomath application as a medium for mathematical problem solving*. Unpublished manuscript.
- Siregar, T., & van Keulen, H. (2025). *Deep learning approach to learning in elementary school (sekolah dasar)*. **SSRN Electronic Journal**. <https://ssrn.com/abstract=5953514>
- Siregar, T., & van Keulen, H. (2025). *Development of android-based mathematics learning media using Articulate Storyline 3 on geometric sequences and series material*. **SSRN Electronic Journal**. <https://ssrn.com/abstract=5913722>
- Siregar, T., & van Keulen, H. (2025). *Implementation of Mabar media-assisted problem-based learning model in enhancing mathematical problem-solving ability of elementary school students*. **SSRN Electronic Journal**. <https://ssrn.com/abstract=5907242>
- Siregar, T., & van Keulen, H. (2026). *Analysis of student errors in solving mathematics problems on trigonometry materials based on Newman's analysis*. **SSRN Electronic Journal**. <https://ssrn.com/abstract=6013114>
- Siregar, T., & van Keulen, H. (n.d.). *Effectiveness of "R" simulation in learning random variable probability distributions*. Unpublished manuscript.
- Siregar, T., Abadi, A. M., Andayani, S., Rangkuti, A. N., & Sungkono, J. (2024). Uji Normalitas Gain untuk Pemantapan dan Modul Dengan One Group Pre And Post Test di SMP Negeri 1 Padangsidempuan. *Dedikasi: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(2), 499-504.
- Siregar, T., Fauzan, A., Yerizon, & Syafriandi. (2025). *Designing mathematics teaching through deep learning pedagogy: Toward meaningful, mindful, and joyful learning*. **Journal of Deep Learning in Education**, 1(2). <https://doi.org/10.23917/jdl.v1i2.11969>
- Siregar, T., Zuhair, R. A., Iskandarsyah, S. S., & Amir, A. (2023). Pengaruh Minat dan Kreativitas Belajar terhadap Prestasi Matematika Mahasiswa pada Mata Kuliah Kalkulus. *Journal of Matematics In Teaching and Learning*, 1(2), 32-42.
- Sudihartinih, E., Purniati, T., & Luneta, K. (2024, July). Visualizing ellipse and hyperbola: The study of a manipulative's effectiveness. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3176, No. 1, Article 030005). AIP Publishing LLC. <https://doi.org/10.1063/5.0222466>
- Sugiyono. (2015). *Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D)*. Bandung: Alfabeta.
- Syefrinando, B., Suraida, & Parman, A. (2020). Pengembangan Media Pembelajaran Fisika Berbasis Adobe Flash Professional CS6 Untuk Mata Kuliah Fisika Dasar I. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, *6*(1), 1–8. DOI: <http://dx.doi.org/10.29303/jpft.v6i1.1522>
- Takaendengan, B. R., Nuha, A. R., Damayanti, T., Janna, M., & Anggraini, F. (2024). Advanced differential e-module: Integrating case-based and visual exploration. *Journal of Education Technology*, 8(4), 632-640. <https://doi.org/10.23887/jet.v8i4.85781>
- Tatar, E., & Zengin, Y. (2016). Conceptual understanding of definite integral with GeoGebra. *Computers in the Schools*, 33(2), 120-132. <https://doi.org/10.1080/07380569.2016.1177480>
- Torang Siregar, & Yuni Rhamayanti. (2025). Implementasi Pengembangan Model ADDIE pada Dunia Pendidikan. *Jurnal Hasil Penelitian Dan Pengembangan (JHPP)*, 3(2), 85–100. <https://doi.org/10.61116/jhpp.v3i2.561>
- Umar, U., Purwanto, M. B., & Al Firdaus, M. M. (2023). Research and development: As the primary alternative to educational research design frameworks. *JELL (Journal of English*

- Language and Literature) STIBA-IEC Jakarta, 8(1), 73-82.
<https://doi.org/10.37110/jell.v8i01.172>
- van Keulen, H., & Siregar, T. (2025). *Analysis of mathematical problem-solving ability of grade XI students at SMK Negeri 1 Padangsidempuan on the topic of systems of linear inequalities in two variables*. SSRN Electronic Journal.
<https://ssrn.com/abstract=5945795>
- Votecamejo. (2020). *Panduan Praktis Membuat Media Pembelajaran Interaktif dengan Adobe Flash*. Yogyakarta: Pustaka Ananda Srva.
- Wiyanto. (2008). *Penyusunan Tes Hasil Belajar*. Semarang: Unnes Press.