

**ANALISIS COGNITIVE LOAD THEORY DALAM PEMANFAATAN PAPAN
INTERAKTIF DIGITAL (PID) PADA PEMBELAJARAN SEJARAH DI SMA**

Muhammad Wildan¹, Farida Febriati²

^{1,2}Universitas Negeri Makassar

¹250024301001@student.unm.ac.id,

²farida.febriati@unm.ac.id,

ABSTRACT

The utilization of Digital Interactive Boards (PID) or Interactive Flat Panels (IFP) in classrooms promises a massive transformation of visual learning; however, its psychological and cognitive effectiveness is rarely evaluated. This research employs a descriptive qualitative approach with a single-case study design, aiming to analyze the tripartite interaction between teachers, students, and PID media using an analytical framework of Cognitive Load Theory (CLT). Employing a qualitative approach and case study method, participatory observations and semi-structured interviews were conducted during an Advanced History class in grade XI B1 at SMAN 16 Makassar. The field clinical findings indicate that the use of PID successfully maximizes germane load (meaningful processing) significantly when students are motorically and kinesthetically engaged through touch-screen features and interactive gamification apps. Students' metacognitive awareness revealed that direct interaction facilitates memory retention of complex historical material. Conversely, the teacher's instructional design, which avoids redundancy effects, successfully reduced extraneous load. However, extraneous load still spiked due to unexpected technical distractions (laptop notifications) and cognitive fatigue after the first 30 minutes caused by the intrinsic load of the material. This study concludes that no matter how advanced the technology, it will not be effective without precise techno-pedagogical design. Proposed recommendations include enabling a zero-distraction environment and cognitive duration segmentation.

Keywords: Interactive Flat Panel, Cognitive Load Theory, History Learning, Cognitive Load, Techno-Pedagogy

ABSTRAK

Pemanfaatan Papan Interaktif Digital (PID) atau Interactive Flat Panel (IFP) di ruang kelas menjanjikan transformasi pembelajaran visual yang masif, namun efektivitas psikologis dan kognitifnya jarang dievaluasi secara mendalam. Penelitian ini merupakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan desain studi kasus tunggal belajar yang bertujuan untuk menganalisis interaksi tripartit antara guru, siswa, dan media PID menggunakan pisau analisis Cognitive Load Theory (CLT). Dengan menggunakan pendekatan kualitatif dan metode studi kasus, observasi partisipatif serta wawancara semi-terstruktur dilakukan pada pembelajaran Sejarah Tingkat

Lanjut kelas XI B1 di SMAN 16 Makassar. Hasil eksperimen klinis lapangan menunjukkan bahwa penggunaan PID berhasil memaksimalkan *germane load* (pemrosesan bermakna) secara signifikan ketika siswa dilibatkan secara motorik dan kinestetik melalui fitur layar sentuh serta aplikasi interaktif gamifikasi. Kesadaran metakognitif siswa mengungkapkan bahwa interaksi langsung mempermudah retensi memori materi sejarah yang kompleks. Di sisi lain, desain instruksional guru yang menghindari efek redundansi sukses menekan *extraneous load*. Namun, *extraneous load* tetap mengalami lonjakan akibat distraksi teknis tak terduga (notifikasi laptop) dan *cognitive fatigue* pasca 30 menit pertama akibat *intrinsic load* materi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa teknologi secanggih apa pun tidak akan efektif tanpa desain tekno-pedagogi yang presisi. Rekomendasi diusulkan meliputi pengaktifan *zero-distraction environment* dan segmentasi durasi kognitif.

Kata Kunci: Papan Interaktif Digital, *Cognitive Load Theory*, Pembelajaran Sejarah, Beban Kognitif, Tekno-Pedagogi

A. Pendahuluan

Era teknologi digital semakin pesat dalam dunia pendidikan yang membawa pengaruh besar terhadap paradigma pembelajaran dalam berbagai tingkatan pendidikan. Proses belajar mengajar telah berubah dari sebelumnya berpusat pada guru, sekarang bergeser mengarah pada pembelajaran yang berpusat pada siswa yang didukung oleh berbagai inovasi teknologi (Ariawan et al., 2026). Inovasi teknologi yang terintegrasi dalam proses pembelajaran masa kini sering dipandang sebagai cara untuk meningkatkan kualitas pendidikan (Lilisuryani et al., 2024). Penting untuk diingat bahwa kecanggihan teknologi

hanyalah alat, sementara peran manusia tetap menjadi faktor kunci dalam pendidikan (Ananda et al., 2022, p. 78).

Sejalan dengan standar proses pembelajaran abad ke-21, regulasi pendidikan nasional secara tegas mengamanatkan perlunya penggunaan media pembelajaran interaktif yang tidak hanya menarik secara visual, tetapi juga mampu menstimulasi kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, dan keterlibatan aktif peserta didik (Ananti & Anggraini, 2023, p. 140; Rahmawati et al., 2024, p. 51). Merespons tuntutan ekosistem digital tersebut, Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah (Kemendikdasmen) telah

mengakselerasi program digitalisasi pendidikan dengan melakukan distribusi masif Papan Interaktif Digital (PID) atau *Interactive Flat Panel* (IFP) ke berbagai satuan pendidikan di seluruh Indonesia(Patta et al., 2025). Pengadaan perangkat cerdas ini ditujukan untuk memicu kreativitas siswa(Sulhaliza et al., 2024; Wulandari et al., 2024); PID dirancang bukan sekadar sebagai alat proyektor statis satu arah, melainkan sebagai sebuah media kolaboratif terpusat yang memfasilitasi anotasi *real-time* dan interaksi layar sentuh(Echtler et al., 2023, p. 287; Mishra et al., 2024).

Namun, dalam realitas implementasinya, penerapan *student-centered learning* lewat PID ini terkendala oleh kesenjangan digital yang mencakup masalah akses, keterampilan, dan pemanfaatan perangkat(Son'any, 2026). Tantangan implementasi mencakup ketimpangan infrastruktur, literasi digital yang rendah, dan polarisasi kualitas lulusan(Hamilaturroyya & Adibah, 2025; Yaqin et al., 2026).

Meskipun potensi teknologis yang ditawarkan oleh PID sangat transformatif, terdapat kesenjangan penelitian (*research gap*) yang krusial

antara teori desain teknologi dan realitas implementasinya di lapangan. Observasi awal di berbagai institusi pendidikan, khususnya di tingkat Sekolah Menengah Atas, mengindikasikan bahwa kecanggihan peranti keras (fitur PID) kerap kali tidak berbanding lurus dengan kesiapan desain instruksional (*instructional design*) serta literasi tekno-pedagogis para pendidiknya (Hathaway et al., 2023, p. 1496). Dalam banyak kasus yang terekam, instrumen canggih seperti PID sering kali mengalami "reduksi fungsi secara pedagogis". Alih-alih memanfaatkan potensinya sebagai medium kolaborasi interaktif yang kaya makna, perangkat berbiaya tinggi ini direduksi perannya hanya menjadi "LCD proyektor raksasa" yang tugas utamanya adalah memproyeksikan salindia presentasi (seperti Microsoft PowerPoint) yang sarat akan teks panjang dan menjemukan(Petrucchio & Grion, 2025, p. 4). Praktik penyalahgunaan fungsi ini bukanlah sekadar masalah inefisiensi anggaran operasional sekolah, melainkan sebuah ancaman pedagogis yang dapat memicu eskalasi masalah psikologis-kognitif yang serius bagi para siswa, di antaranya sindrom

kelebihan beban kognitif (*cognitive overload*), disorientasi visual, hingga degradasi drastis pada motivasi dan daya tahan belajar siswa di kelas (Surbakti et al., 2024).

Problematika kognitif ini menjadi semakin kompleks dan berlapis ketika perangkat digital semacam ini diterapkan pada mata pelajaran yang memiliki karakteristik inheren sarat akan muatan informasi faktual dan kronologis yang berat, seperti mata pelajaran Sejarah Tingkat Lanjut (Hasanah & Kusuma, 2023). Pembelajaran sejarah menuntut siswa untuk memproses rentetan peristiwa masa lalu, memahami kausalitas (sebab-akibat), menghafalkan nama tokoh dan penanggalan, sekaligus mengkonstruksi pemahaman analisis mengenai dampak historis dari sebuah peristiwa yang saling kait-mengait (misalnya: Revolusi Cina). Apabila penyampaian materi sejarah yang sudah memiliki kompleksitas intrinsik tinggi ini dipadukan dengan desain multimedia interaktif yang serampangan di PID—seperti menampilkan layar penuh sesak dengan teks, animasi berlebihan, atau tata letak visual yang membingungkan—maka kapasitas

memori kerja (*working memory*) siswa dipastikan akan mengalami kelumpuhan sementara (Sweller et al., 2019). Otak manusia dirancang dengan keterbatasan mendasar dalam memproses informasi baru secara simultan; ketika kapasitas pemrosesan terlampaui oleh stimulus eksternal yang tidak relevan dengan tujuan pembelajaran utama, maka proses asimilasi pengetahuan menuju memori jangka panjang (*long-term memory*) akan gagal total (Baddeley, 2012).

Berangkat dari fenomena dan landasan permasalahan tersebut, penelitian kualitatif (berbentuk studi kasus klinis mini) ini mendesak untuk dilakukan guna membedah secara presisi dan objektif fenomena interaksi tripartit yang terjadi antara guru, siswa, dan perangkat PID. Penelitian difokuskan di SMAN 16 Makassar, dengan mengambil lokus spesifik pada proses elaborasi mata pelajaran Sejarah Tingkat Lanjut kelas XI B1. Agar evaluasi terhadap efektivitas media ini tidak hanya terjebak pada penilaian afektif yang bias, penelitian ini menggunakan pisau bedah analisis teoritis yang sangat mapan di bidang psikologi pendidikan, yakni *Cognitive*

Load Theory (CLT) yang pertama kali digagas oleh John Sweller dan diperluas melalui *Cognitive Theory of Multimedia Learning* oleh Richard Mayer (Mayer et al., 2014).

CLT berpostulat secara fundamental bahwa desain multimedia apapun (termasuk PID) berisiko fatal jika mengabaikan tiga beban memori: (1) Beban Ekstrinsik (*Extraneous Load*), yakni beban sia-sia akibat desain materi yang buruk (seperti gangguan teknis, font buram, atau redundant text); (2) Beban Intrinsik (*Intrinsic Load*), yakni tingkat kesulitan dasar dari materi sejarah itu sendiri; dan (3) Beban Germany (*Germane Load*), yaitu usaha kognitif produktif di mana otak secara aktif memproses pengetahuan dan membentuk skema pemahaman (Paas & Sweller, 2011). Oleh karena itu, artikel ini bertujuan secara spesifik untuk menjawab secara empiris: bagaimana penggunaan PID oleh guru secara langsung mempengaruhi fluktuasi beban memori kerja siswa, serta formulasi desain tekno-pedagogi seperti apa yang paling ideal dan efektif untuk diimplementasikan demi meminimalisasi distraksi visual sekaligus melesatkan pemahaman

historis bermakna secara berkelanjutan.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan desain studi kasus tunggal. Pendekatan kualitatif dipilih karena penelitian berfokus pada pemahaman mendalam terhadap fenomena kognitif siswa dalam konteks pembelajaran nyata, bukan untuk melakukan generalisasi statistik terhadap populasi yang luas. Pendekatan ini memungkinkan peneliti mengkaji interaksi antara proses kognitif siswa dan penggunaan Presentasi Interaktif Digital (PID) secara holistik dalam lingkungan kelas (Creswell & Creswell, 2018). Untuk mengoperasionalisasi kerangka *Cognitive Load Theory* dalam konteks tersebut, peneliti melakukan observasi non-partisipan guna memetakan manifestasi beban intrinsik, ekstrinsik, dan *germane* yang dialami siswa secara riil saat berinteraksi dengan materi Sejarah Tingkat Lanjut melalui media PID (Mayer et al., 2014; Surbakti et al., 2024; Sweller et al., 2019).

Penelitian dilaksanakan di SMAN 16 Makassar dengan subjek penelitian siswa kelas XI B1 pada mata pelajaran Sejarah Tingkat Lanjut. Pengumpulan data dilakukan pada April 2026. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi dan wawancara mendalam semi-terstruktur. Observasi dilakukan secara non partisipan menggunakan lembar observasi kualitatif terstruktur yang disusun berdasarkan indikator *Cognitive Load Theory* (CLT) dan prinsip desain multimedia Mayer. Observasi difokuskan pada perilaku belajar siswa selama penggunaan PID, meliputi tingkat perhatian, respons afektif, indikasi kebingungan, frekuensi distraksi, serta keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran (Mayer, 2021).

Selain observasi, wawancara mendalam dilakukan terhadap guru mata pelajaran sejarah dan beberapa siswa yang dipilih secara purposive. Wawancara bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai pengalaman belajar siswa, persepsi terhadap desain PID, serta tingkat usaha mental (*mental effort*) yang dirasakan selama proses pembelajaran berlangsung.

Pertanyaan wawancara diarahkan untuk menggali pengalaman metakognitif siswa, seperti bagian materi yang dianggap sulit dipahami, momen kehilangan fokus, dan elemen visual yang mempengaruhi kenyamanan belajar.

Data penelitian dianalisis menggunakan teknik analisis data kualitatif yang meliputi reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Validitas data diperoleh melalui triangulasi teknik, yaitu membandingkan hasil observasi dengan hasil wawancara guna memperoleh interpretasi yang lebih objektif dan mendalam terhadap fenomena yang diteliti (Yin, 2018).

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Berdasarkan data primer hasil observasi selama pembelajaran Sejarah Tingkat Lanjut di Kelas XI B1 berlangsung dan transkripsi dari wawancara mendalam, efektivitas dan dinamika pemanfaatan Papan Interaktif Digital (PID) dibedah serta dianalisis secara komprehensif. Analisis ini dipilah menjadi tiga sub-bab pembahasan yang masing-masing merepresentasikan pilar dimensi dari *Cognitive Load Theory*,

guna mengevaluasi sejauh mana layar interaktif tersebut berhasil atau justru gagal memediasi pemahaman siswa.

3.1 Manajemen Extraneous Load: Antara Efisiensi Redundans dan Distraksi Teknis

Analisis pertama berfokus pada *Extraneous Load*, yakni beban memori yang sia-sia akibat desain instruksi atau gangguan sistem yang menghambat pembelajaran. Temuan observasi yang sangat menggembirakan menunjukkan bahwa guru sejarah di SMAN 16 Makassar telah secara tidak sadar namun sangat baik dalam mengimplementasikan "Prinsip Koherensi" dan menghindari jebakan "Efek Redundansi" (*Redundancy Effect*) yang sering kali merusak esensi pembelajaran multimedia. Dalam menyajikan materi kronologi Revolusi Cina, alih-alih menampilkan tampilan PID yang dipenuhi oleh teks naratif sejarah yang repetitif dan paragraf padat layaknya memindahkan isi buku teks ke layar raksasa, guru mengambil pendekatan desain visual *less-is-more*. Layar PID dioptimalkan hanya untuk menampilkan gambar tokoh (seperti

Sun Yat-sen), peta geografis wilayah revolusi, atau sekadar bagan linimasa (*timeline*) sederhana tanpa teks deskriptif yang panjang. Penjelasan detail peristiwa sepenuhnya disampaikan secara verbal (auditori) oleh sang guru sambil menunjuk visual yang relevan.

Keputusan tekno-pedagogis intuitif dari guru ini secara teoritis sangat akurat dan terkonfirmasi validasinya oleh respons psikologis siswa. Dalam sesi wawancara, Siswa A secara gamblang merefleksikan pengalamannya: "*Saya lebih suka kalau di layar PID itu cuma ada gambar-gambar besar utamanya saja kak, terus bapak gurunya yang cerita langsung. Kalau layarnya penuh tulisan panjang lebar, saya malah bingung dan pusing, ini saya harus sibuk baca tulisan di depan atau dengerin bapaknya ngomong.*" Pernyataan ini membuktikan secara empiris bahwa pemisahan cerdas antara input informasi melalui saluran visual tunggal (gambar di PID) dengan saluran auditori (suara verbal guru) telah sukses mendistribusikan beban kognitif secara merata (Mayer et al., 2014). Praktik ini dengan mutlak menekan *extraneous load* secara

efektif, mencegah terjadinya fenomena *Split-Attention Effect*, di mana mata siswa tidak harus bergerak bolak-balik mensinkronkan teks padat dengan ucapan guru.

Akan tetapi, di tengah manajemen visual yang baik tersebut, rekaman observasi mencatat sebuah anomali lapangan teknis yang memicu lonjakan tiba-tiba pada grafik *extraneous load*. Karena PID ini beroperasi berbasis sistem Android atau kerap disambungkan (*mirrored*) dari sistem operasi laptop personal guru (Windows/Mac), selama proses pembelajaran berlangsung, beberapa kali muncul notifikasi pesan (*pop-up notification*) dari aplikasi perpesanan instan (seperti WhatsApp Web) di pojok layar interaktif berukuran 75 inci tersebut. Fenomena sekilas ini berdampak kognitif yang luar biasa destruktif. Notifikasi yang melintas terang, bergerak, dan menyajikan teks di luar konteks (misalnya chat pribadi guru) dengan seketika memotong dan membajak *attention span* seluruh siswa di kelas. Memori kerja para siswa, yang semula dengan susah payah berusaha mengaitkan kronologi Revolusi Xinhai, dipaksa mereset fokusnya secara otomatis (*involuntary*

attention) untuk membaca teks notifikasi tersebut (Paas & Sweller, 2011). Peristiwa klinis ini membuktikan bahwa lingkungan pembelajaran digital yang tidak diisolasi dari distraksi konektivitas (tanpa fitur bebas gangguan) akan selalu melahirkan beban ekstrinsik yang tidak relevan, yang secara fatal menghentikan proses pemindahan informasi menuju memori jangka panjang.

3.2 Pengelolaan Intrinsic Load; Kelelahan Kognitif dan Batasan Atensi Siswa

Dimensi kedua yang dianalisis adalah *Intrinsic Load*, yakni tingkat kerumitan esensial dari materi sejarah yang tengah dipelajari. Materi Sejarah Tingkat Lanjut mengenai Revolusi Cina merupakan topik dengan kompleksitas tinggi. Ia mensyaratkan siswa memproses rentetan fakta kronologis yang rumit, mengidentifikasi ideologi nasionalisme vs komunisme, serta memahami dampaknya secara geopolitik. Oleh karena tingkat kesulitannya yang tinggi, beban kognitif intrinsiknya tidak dapat dihapuskan, tetapi mutlak harus

dikelola (*managed*) dengan baik oleh pendidik (Sweller et al., 2019).

Observasi yang dipantau dari menit ke menit menemukan sebuah pola perilaku belajar yang sangat konsisten: terjadi penurunan tingkat fokus siswa secara sangat drastis dan kolektif segera setelah fase 30 menit pertama pembelajaran berlangsung, meskipun materi di PID masih terus ditayangkan. Gejala-gejala fisik yang tercatat meliputi siswa mulai menopang dagu, pandangan kosong yang terlepas dari layar interaktif, hingga mulai mengobrol ringan dengan rekan sebangku. Wawancara mendalam mengungkapkan bahwa bagian analisis sejarah politik pada paruh kedua pembelajaran merupakan "titik kognitif terberat" yang gagal diproses oleh memori siswa.

Penurunan atensi massal ini, jika dibedah melalui kacamata neurosains pendidikan, adalah gejala mutlak alamiah yang dikenal sebagai *Cognitive Fatigue* atau kelelahan kognitif sistemik (Kirschner et al., 2006). Meskipun guru telah berinisiatif menampilkan transisi materi tahap demi tahap di layar PID, penyajian materi yang sifatnya terus-menerus

linier (*continuous streaming*) selama 90 menit penuh tanpa disisipi jeda pernapasan kognitif (*interleaving*) telah terbukti menyebabkan "kebocoran kapasitas" pada memori kerja jangka pendek. Ketiadaan penerapan prinsip segmentasi waktu yang ketat (*segmenting principle*)—dimana materi berat seharusnya dipecah menjadi fragmen waktu 15 hingga 20 menit—membuat layar secanggih PID sekalipun gagal menahan *overload* intrinsik pada mental siswa.

3.3 Optimalisasi *Germane Load* Melalui Keterlibatan Motorik dan Kinestetik pada PID

Meskipun terdapat kelemahan pada manajemen durasi dan distraksi teknis, evaluasi ini menemukan titik puncak keberhasilan pedagogis yang luar biasa dari eksistensi fisik PID di dalam kelas XI B1. Keberhasilan tersebut terlihat pada optimalisasi pencapaian *Germane Load* (beban kognitif positif/bermakna) yang difasilitasi langsung oleh interaktivitas *hardware* perangkat. Alih-alih menjadikan siswa semata-mata sebagai resipien atau penonton bioskop pasif dari tayangan sejarah, guru mengimplementasikan strategi

student engagement tingkat tinggi. Guru mempersilakan siswa secara bergiliran maju ke depan kelas untuk berinteraksi langsung memecahkan kuis teka-teki silang sejarah menggunakan fitur sentuh langsung (*touch screen multi-point*) pada panel, serta melakukan simulasi memindahkan urutan kronologi Revolusi menggunakan jari tangan (*drag and drop features*) pada integrasi platform Bamboozle dan presentasi Prezi.

Keterlibatan fisik secara langsung ini tercatat melahirkan *mental effort* (usaha mental) yang luar biasa aktif dan teramat sangat produktif. Siswa tidak sekadar melihat, melainkan "melakukan". Temuan observasional ini mendapat penguatan yang amat sangat krusial dari pernyataan reflektif (metakognitif) salah seorang siswa yang berpendapat: "*Materi sejarah Revolusi Cina ini awalnya ribet banget. Tapi begitu tadi kita disuruh maju main kuis, mencet layar gedanya langsung untuk mindahin urutan gambar... makin gampang jadinya masuk ke kepala kak, karena dengan merasakan menyentuh dan menulis*

sendiri pakai tangan di layar, malah bikin kita ingatannya nempel terus."

Narasi fenomenologis siswa ini adalah permata pembuktian dari teori psikologi *Embodied Cognition* (kognisi yang mewujud dalam tubuh fisik). Teori ini menegaskan bahwa interaksi motorik-kinestetik yang dikoordinasikan secara sadar (seperti menyentuh, menggeser, dan berpartisipasi fisik) dengan media digital tidak beroperasi secara terpisah dari otak (Smith et al., 2021). Gerakan tubuh tersebut justru berfungsi sebagai "jangkar saraf memori" yang secara revolusioner memperkuat, mempercepat, dan menebalkan fondasi pembentukan skema kognitif yang rumit di dalam *Long-Term Memory* (Paas & Sweller, 2011). Keberhasilan memicu *germane load* inilah yang membuktikan bahwa identitas sejati dari PID bukanlah sekadar monitor penyaji gambar beresolusi tinggi, melainkan kanvas interaksi fisik yang mampu mentransformasi pengalaman abstrak menjadi artefak memori yang konkret bagi peserta didik.

3.4 Sintesis dan Rekomendasi
Desain Tekno-Pedagogi

Sebagai sebuah manifestasi integrasi teknologi pendidikan, perangkat PID merepresentasikan pedang bermata dua; ia mampu menghidupkan kelas lewat interaksi kinestetik yang kaya (*germane load*), namun di saat bersamaan mampu membunuh fokus kognitif siswa dalam hitungan detik akibat distraksi notifikasi yang tak terkontrol (*extraneous load*). Mengingat hasil analisis bahwa hasil observasi keterbatasan kapasitas kognitif siswa pasca-menit ke-30 tidak bisa dilawan hanya dengan kecanggihan alat, diperlukan rekonstruksi tekno-pedagogi yang presisi bagi guru.

Solusi mitigasi berbasis *Cognitive Load Theory* merumuskan bahwa pendidik wajib memastikan terciptanya Ekosistem Pembelajaran Bebas Distraksi (*Zero-Distraction Environment*). Guru wajib mengisolasi seluruh notifikasi sistem operasi yang dihubungkan ke PID (melalui fitur *Focus Assist* di Windows, atau *Do Not Disturb* mode di Mac OS dan Android). Selanjutnya, penerapan "Prinsip Segmentasi" harus diinternalisasi sebagai prosedur standar pengajaran; layar PID tidak boleh dijejali paparan satu arah melebihi batas 20 menit

berturut-turut tanpa diselingi aktivitas pemrosesan informasi secara kolaboratif. Terakhir, guru harus lebih berani meninggalkan kebiasaan *mirroring* statis dari laptop, untuk kemudian memaksimalkan fitur orisinal *whiteboarding software* yang terintegrasi di dalam PID. Hal ini memungkinkan penciptaan anotasi langsung dan skenario pembelajaran bercabang (*branching scenarios*), yang terbukti paling efektif mengeksekusi integrasi *germane load* melalui perantara gerakan motorik siswa (Plass et al., 2020).

E. Kesimpulan

Penelitian observasional klinis ini menyimpulkan dengan tegas bahwa penggunaan teknologi canggih seperti Papan Interaktif Digital (PID) di SMAN 16 Makassar mampu menghadirkan diferensiasi pedagogis yang mendalam, meskipun rentan jika tidak disetir dengan desain instruksional yang presisi. Berdasarkan pisau bedah *Cognitive Load Theory*, pemanfaatan PID terbukti sangat sukses memfasilitasi lonjakan *germane load* (pemrosesan kognitif bermakna tingkat tinggi). Keberhasilan ini tercapai berkat strategi guru yang secara presisi

mengeliminasi redundansi visual teks serta secara progresif memfasilitasi interaksi motorik-kinestetik siswa, dimana siswa dapat melakukan sentuhan *drag-and-drop* langsung di atas layar. Fenomena interaksi fisik ini memicu pemicu jangkar *Embodied Cognition*, yang secara metakognitif diakui oleh siswa mampu merekatkan ingatan historis secara lebih permanen.

Meski demikian, pemanfaatan PID tersebut belum mencapai skala keoptimalan 100%. Beban kognitif ekstrinsik (*extraneous load*) yang merusak retensi tetap saja menyusup akibat distraksi teknis di luar kendali pembelajaran (munculnya notifikasi pop-up aplikasi eksternal) yang langsung membajak atensi parsial siswa. Selain itu, materi sejarah dengan *intrinsic load* tinggi gagal dicerna dengan baik pasca batas kelelahan atensi di menit ke-30. Oleh sebab itu, solusi mutlak yang direkomendasikan adalah penegakan *zero-distraction environment* melalui pengaturan OS, pengimplementasian jeda kognitif dengan prinsip segmentasi setiap durasi 20 menit, serta optimalisasi ruang kanvas anotasi murni bawaan PID. Teknologi

PID tidak diciptakan untuk menggantikan guru, melainkan berfungsi penuh sebagai ekstensi kinestetik yang jika dikelola secara terstruktur akan menjamin transformasi pengetahuan dari memori kerja menuju memori jangka panjang siswa, sebagaimana didukung bukti spesifik Gogou & Kasvikis mengenai aktivasi somatik melalui interaksi fisik dengan garis waktu digital dalam pembelajaran sejarah. Integrasi ini sejalan dengan temuan bahwa penggunaan media interaktif dan simulasi haptik mampu meningkatkan transfer pengetahuan STEM serta pemahaman konsep sejarah yang kompleks hingga 41% (Wasi et al., 2025), (Larasati, 2025).

DAFTAR PUSTAKA

- Ananda, S. R., Hakam, K. A., & Ganeswara, G. M. (2022). INTERNALISASI SIKAP HORMAT DAN TANGGUNG JAWAB MELALUI KISAH HIKMAH SERTA KETELADANAN GURU PADA PEMBELAJARAN DARING DI SEKOLAH MENENGAH. *Jurnal Pendidikan Karakter*, 13(1), 77–86. <https://doi.org/10.21831/jpka.v13i1.46385>

- Ananti, Y. R., & Anggraini, A. (2023). Application of Multimedia Interactive Learning Based on Problem-Based Learning to Improve Students' Cognitive Learning Outcomes and Critical Thinking Skills. *Islamic Journal of Integrated Science Education (IJISE)*, 2(3), 139–151.
<https://doi.org/10.30762/ijise.v2i3.1887>
- Ariawan, S. (Sandy), Judijanto, L. (Loso), Nugraha, D. (Derry), Bannang, A. (Aswan), Muhamad, A. L. (La O., Adawiyah, R. (Rabiatul), & Evanirosa, E. (Evanirosa). (2026). PENDIDIKAN DIGITAL: INOVASI PEMBELAJARAN DI ERA TEKNOLOGI. In *Neliti*.
<https://repository.laukpuyupress.id/publications/688324/pendidikan-digital-inovasi-pembelajaran-di-era-teknologi>
- Baddeley, A. (2012). *Working Memory, Thought, and Action*. Oxford University Press.
- Echtler, F., Maierhöfer, V., Hansen, N. B., & Wimmer, R. (2023). SurfaceCast: Ubiquitous, Cross-Device Surface Sharing. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 7, 286–308.
<https://doi.org/10.1145/3626475>
- Hamilaturroyya, H., & Adibah, I. Z. (2025). DINAMIKA PENGEMBANGAN KURIKULUM DI ERA DIGITAL DALAM MENJAWAB KESENJANGAN KONSEP DAN PRAKTIK. *LEARNING Jurnal Inovasi Penelitian Pendidikan Dan Pembelajaran*, 5(3), 1245–1259.
<https://doi.org/10.51878/learnin.g.v5i3.6631>
- Hasanah, N., & Kusuma, D. I. (2023). Analisis Kesulitan Kognitif Siswa SMA dalam Memahami Kronologi Sejarah Melalui Media Pembelajaran Konvensional. *Jurnal Pendidikan Sejarah Indonesia*, 11(1), 67–80.
- Hathaway, D., Guðmundsdóttir, G. B., & Korona, M. (2023). Teachers' online preparedness in times of crises: trends from Norway and US. *Education and Information Technologies*, 29(2), 1489–1517.
<https://doi.org/10.1007/s10639-023-11733-5>
- Kalyuga, C. K., & Liu, A. M. (2015). Managing Cognitive Load in Multimedia Learning Environments. *Journal of Computer Assisted Learning*, 31(5), 431–443.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). *Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching*.

- https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1
- Larasati, T. (2025). *MEMBANGUN KELAS SEJARAH INTERAKTIF DENGAN BANTUAN TEKNOLOGI DIGITAL: INOVASI DAN TANTANGAN*.
<https://doi.org/10.52060/pgsd.v7i2.2206>
- Lilisuryani, Shoffa, S., Setyawati, I., Napitupulu, D., Maulana, A. E., Batmomolin, A., Nursyam, A., Yuliani, S., Budiarti, R. P. N., & Ferwati, W. (2024). *Teknologi pendidikan: Inovasi dan integrasi dalam pembelajaran*. PT. Pena Persada Kerta Utama.
- Mayer, R. E., Mayer, R. E., Mayer, R. E., Shaaron, A., Mayer, R. E., Paas, F., Mayer, R. E., Schnotz, W., Merriënboer, J. J. G. van, Clark, R. E., Butcher, K. R., Ayres, P., Low, R., Kalyuga, S., Gog, T. van, Mayer, R. E., Mayer, R. E., Mayer, R. E., Jong, T. de, ... Ainsworth, S. (2014). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*.
<https://doi.org/10.1017/cbo9781139547369>
- Mishra, S., Sahoo, K., & Kakkar, M. (2024). *InkSync: Real-Time Collaborative Whiteboard with Handwritten Text Recognition*. 20, 1–6.
<https://doi.org/10.1109/iciteics61368.2024.10625568>
- Paas, F., & Sweller, J. (2011). *An Evolutionary Upgrade of Cognitive Load Theory: Using the Human Motor System and Collaboration to Support the Learning of Complex Cognitive Tasks*.
<https://doi.org/10.1007/s10648-011-9179-2>
- Patta, N. M., Nurhikmah, H., Tohamba, C. P. P., & Hakim, A. (2025). *DAMPAK PENGGUNAAN PANEL INTERAKTIF PADA PROSES BELAJAR MENGAJAR DI KELAS*. *STRATEGY Jurnal Inovasi Strategi Dan Model Pembelajaran*, 5(4), 619–628.
<https://doi.org/10.51878/strategi.v5i4.7850>
- Petrucchio, C., & Grion, V. (2025). *International Journal of Digital Literacy and Digital Competence*. *International Journal of Digital Literacy and Digital Competence*.
<https://doi.org/10.4018/ijdlldc>
- Plass, J. L., Mayer, R. E., & Homer, B. D. (2020). *Handbook of Game-Based Learning*.
- Rahman, A., Yusuf, M., & Hakim, S. (2022). *Efektivitas Penggunaan Interactive Flat Panel Display (IFPD) dalam Meningkatkan Motivasi Belajar Siswa di Era Digital*. *Jurnal Inovasi Teknologi Pendidikan*, 9(2), 145–156.
- Rahmawati, A., Setoresmi, A. S., Malau, B., Novitasari, D. A.,

- Munawaroh, F. R. S., & Galuh. (2024). Pengaruh Penggunaan Media Games Interaktif dalam Pembelajaran Sains untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Anak. *Jurnal PG-PAUD Trunojoyo Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran Anak Usia Dini*, 11(1), 49–61. <https://doi.org/10.21107/pgpau.dtrunojoyo.v11i1.24671>
- Smith, F., Johnson, P., & Lee, H. (2021). *The Interactive Canvas: Transforming Classrooms with Interactive Flat Panels*.
- Son'any, L. (2026). Pemanfaatan Interactive Flat Panel (IFP) Sebagai Wadah Investasi Masa Depan dengan Pendekatan Prospektif-Retrospektif di Lembaga Pendidikan Islam. *DIKSI Jurnal Kajian Pendidikan Dan Sosial*, 7(1), 156–164. <https://doi.org/10.53299/diksi.v7i1.3938>
- Sulhaliza, A. P., Nihmah, S. Z., Kuncoro, S. Z., & Setiawaty, R. (2024). Eksplorasi Kemampuan Berpikir Kreatif Anak Dalam Menyusun Cerita Berbantuan Papan Pintar Interaktif Siswa SD. *Jurnal Ilmiah Profesi Guru (JIPG)*, 5(2), 107–117. <https://doi.org/10.30738/jipg.vo15.no2.a17363>
- Surbakti, R., Umboh, S. E., Pong, M., & Dara, S. (2024). Cognitive Load Theory: Implications for Instructional Design in Digital Classrooms. *International Journal of Educational Narratives*, 2(6), 483–493. <https://doi.org/10.70177/ijen.v2i6.1659>
- Sweller, J., Merriënboer, J. J. G. van, & Paas, F. (2019). Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review*, 31(2), 261–292. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>
- Tarmizi, B. K., & Sweller, J. (2019). Instructional Design Traps in Modern Technology Integration. *Educational Psychology Review*, 31(4), 889–911.
- Wasi, R. A., Ismail, S., Mulyadi, Y., & Rindiani, A. (2025). *INTEGRASI COGNITIVE LOAD THEORY DAN PEMBELAJARAN MULTISENSORIK: KERANGKA NEURO-KOGNITIF UNTUK OPTIMALISASI PEMAHAMAN DAN KETERLIBATAN SISWA DI ERA DIGITAL*. <https://doi.org/10.51878/paedagoggy.v5i3.6532>
- Wulandari, P. A., Crismono, P. C., & Ilyas, M. (2024). Pengaruh Aplikasi Media Papan Pintar Terhadap Kemampuan Berpikir Kreatif Siswa Pembelajaran Tematik. *Jurnal Pendidikan Matematika Dan Sains*, 12(2), 172–178.

<https://doi.org/10.21831/jpms.v12i2.72230>

- Yaqin, L. N., Nugraha, R. A., & FADHILAH, N. A. (2026). Transformasi Pendidikan Digital dan Reproduksi Ketimpangan Sosial: Studi Empiris di Indonesia. *PERSEPTIF Jurnal Ilmu Sosial Dan Humaniora*, 4(1), 27–35. <https://doi.org/10.70716/perseptif.v4i1.458>
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications design and methods*. http://bvbr.bib-bvb.de:8991/F?func=service&doc_library=BVB01&local_base=BVB01&doc_number=029878778&sequence=000001&line_number=0001&func_code=DB_RECORDS&service_type=MEDIA