

# Infrastruktur Digital dan Kesiapan Guru terhadap Intensitas Pemanfaatan Pembelajaran Digital

## Digital Infrastructure and Teacher Readiness for the Intensity of Digital Learning Utilization

diterima: 25-03-2026, disetujui: 28-06-2026, diterbitkan: 30-06-2026

DOI: <https://doi.org/10.24832/jpnk.v11i1.7107>

<sup>1</sup>Jose Segitya Hutabarat, <sup>2</sup>Valeri Timoti Hamise

<sup>1</sup>Universitas Telkom, Bandung – Indonesia

<sup>2</sup>Universitas Pelita Harapan, Tangerang - Indonesia

\*Penulis korespondensi: hutabaratjose06@gmail.com

**Abstract:** *The digital transformation of education requires indicators that move beyond access provision and examine whether schools convert digital resources into learning practices. This study examines the relationship between digital infrastructure, teacher readiness, and digital learning utilization intensity across Indonesian provinces. Using a quantitative explanatory design, it analyzes administrative data from the Ministry of Basic and Secondary Education for 38 provinces across elementary, junior secondary, senior secondary, and vocational schools. The Digital Infrastructure Index is constructed from internet access, computer access, electricity, and access to safe drinking water, while the Teacher Readiness Index uses bachelor-level qualification and teacher certification. Utilization intensity is measured as the ratio of schools using computers and the internet for learning to schools with internet access. The analysis applies descriptive statistics, zoning, robust HC3 OLS regression, moderation testing, and sensitivity checks. The results indicate that digital infrastructure is positively and significantly associated with the intensity of digital technology utilization across all school levels, whereas formal teacher readiness and its interaction with digital infrastructure are not significant. The study concludes that education digitalization policy should shift from expanding digital access to monitoring the actual utilization of digital technologies in teaching and learning, accompanied by the development of more precise indicators of teachers' digital pedagogical competence.*

**Keywords:** *digital infrastructure; teacher readiness; digital learning utilization; digital pedagogy; education policy*

**Abstrak:** *Digitalisasi pendidikan membutuhkan ukuran keberhasilan yang tidak hanya menilai ketersediaan akses, tetapi juga kemampuan sekolah mengubah akses tersebut menjadi praktik pembelajaran. Penelitian ini bertujuan menguji hubungan infrastruktur digital dan kesiapan guru terhadap intensitas pemanfaatan pembelajaran digital pada tingkat provinsi dan jenjang pendidikan di Indonesia. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif eksplanatori berbasis data sekunder administratif Kemendikdasmen dengan unit analisis 38 provinsi pada jenjang SD, SMP, SMA, dan SMK. Indeks Infrastruktur Digital dibentuk dari akses internet, akses komputer, listrik, dan air minum layak, sedangkan Indeks Kesiapan*

*Guru dibentuk dari kualifikasi akademik minimal S1/D4 dan sertifikasi pendidik. Intensitas pemanfaatan pembelajaran digital dihitung sebagai rasio sekolah yang memanfaatkan komputer dan internet untuk pembelajaran terhadap sekolah yang memiliki akses internet. Analisis dilakukan melalui statistik deskriptif, zonasi, kuadran, regresi OLS robust HC3, uji moderasi, dan uji sensitivitas. Hasil menunjukkan bahwa infrastruktur digital berhubungan positif dan signifikan dengan intensitas pemanfaatan teknologi digital pada seluruh jenjang, sedangkan kesiapan guru formal dan interaksinya terhadap infratructu digital tidak signifikan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kebijakan digitalisasi pendidikan perlu bergeser dari pemenuhan akses menuju pemantauan pemanfaatan, disertai penguatan indikator kompetensi pedagogi digital guru.*

**Kata kunci:** *infrastruktur digital; kesiapan guru; pemanfaatan pembelajaran digital; pedagogi digital; kebijakan pendidikan*

## **PENDAHULUAN**

Transformasi digital pendidikan menuntut pergeseran fokus kebijakan dari penyediaan infrastruktur menuju pemanfaatan teknologi dalam proses pembelajaran. Menurut Badan Pusat Statistik (2025) tingkat akses internet masyarakat mencapai 72,78% pada tahun 2024, sementara kepemilikan komputer rumah tangga masih sebesar 18,52%. Kesenjangan ini mengindikasikan bahwa peningkatan konektivitas belum selalu diikuti oleh ketersediaan perangkat yang mendukung penggunaan teknologi secara produktif (Liu *et al.*, 2025; Sujarwoto & Tampubolon, 2016). Untuk memantau perkembangan ekosistem digital pendidikan, Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah (2026) menyediakan dataset tahunan yang memuat informasi akses dan pemanfaatan teknologi di sekolah. Ketersediaan data tersebut memungkinkan evaluasi digitalisasi pendidikan tidak hanya berdasarkan akses, tetapi juga berdasarkan tingkat pemanfaatan teknologi dalam kegiatan pembelajaran.

Keberhasilan digitalisasi pendidikan akan tercapai ketika sekolah mampu mengintegrasikan infrastruktur digital dengan kesiapan guru dalam praktik pembelajaran (Huda, 2024; Sandee, 2016). Infrastruktur seperti akses internet dan pasokan listrik yang stabil menjadi prasyarat dasar penyelenggaraan pembelajaran digital, sedangkan kualifikasi akademik dan sertifikasi pendidik dapat digunakan sebagai indikator formal kesiapan guru dalam mendukung pemanfaatan teknologi (Khatir & Madani, 2024; Somekh, 2008). Tanpa dukungan kapasitas guru yang memadai, investasi teknologi berpotensi tidak menghasilkan pemanfaatan yang optimal dalam proses pembelajaran (Blišnák *et al.*, 2024; Brunetti *et al.*, 2020). Oleh karena itu, diperlukan pemetaan variasi pemanfaatan teknologi antardaerah serta identifikasi faktor-faktor yang berhubungan dengan perbedaan tersebut. Kebutuhan ini semakin penting mengingat karakteristik geografis Indonesia yang beragam dapat menghasilkan tingkat digitalisasi pendidikan yang berbeda antarwilayah.

Evaluasi Mejía Rodríguez & Kyriakides (2022) menunjukkan bahwa dampak integrasi teknologi digital terhadap proses dan hasil pembelajaran bersifat beragam serta dipengaruhi oleh kondisi pendukung di sekolah. Hubungan antara penggunaan perangkat

digital dan capaian belajar siswa juga tidak bersifat linear, melainkan dipengaruhi oleh tujuan penggunaan, konteks sosial, dan kualitas pembelajaran yang diterapkan (Dahri *et al.*, 2024). Oleh karena itu, transformasi digital pendidikan tidak hanya bergantung pada ketersediaan teknologi, tetapi juga pada dukungan kebijakan, tata kelola sekolah, dan kesiapan guru dalam mengintegrasikan teknologi ke dalam pembelajaran (Timotheou *et al.*, 2023). Kondisi ini mendorong perlunya evaluasi digitalisasi pendidikan yang tidak hanya berfokus pada ketersediaan infrastruktur, tetapi juga pada tingkat pemanfaatannya dalam praktik pembelajaran.

Pembangunan infrastruktur telekomunikasi merupakan salah satu faktor penting dalam mendukung digitalisasi pendidikan, tetapi keberadaannya saja tidak cukup untuk meningkatkan kualitas pembelajaran (Aldosemani, 2023; Olofsson *et al.*, 2020). Perluasan akses *broadband* tanpa diikuti penguatan desain pembelajaran tidak selalu menghasilkan dampak positif terhadap proses belajar siswa dan dalam beberapa konteks dapat menimbulkan konsekuensi yang beragam terhadap fokus belajar mereka (Liu *et al.*, 2025; Sailer *et al.*, 2021). Oleh karena itu, sekolah memerlukan dukungan infrastruktur yang mencakup ketersediaan perangkat digital, akses internet, pasokan listrik, dan utilitas dasar lainnya agar teknologi dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan. Di sisi lain, kapasitas guru dalam mengintegrasikan teknologi ke dalam pembelajaran, termasuk kompetensi pedagogi digital, efikasi diri, dan strategi pembelajaran, berperan penting dalam mengoptimalkan pemanfaatan teknologi tersebut (Falloon, 2020; Skantz-Åberg *et al.*, 2022). Keberhasilan implementasi sangat dipengaruhi oleh dukungan organisasi dan pengalaman sekolah dalam mengelola proses transformasi digital (Beardsley *et al.*, 2021; Lohr *et al.*, 2024).

Ketimpangan dalam ekosistem pendidikan modern telah bergeser dari kesenjangan digital yang berfokus pada akses terhadap teknologi menuju kesenjangan yang berkaitan dengan kemampuan memanfaatkan teknologi dan kualitas hasil yang diperoleh (Miller & Pedersen, 2024; Mirazchiyski, 2025). Pengukuran indikator proses dalam penelitian ini menggunakan indikator administratif yang tersedia secara publik, yaitu proporsi guru berkualifikasi minimal S1/D4 dan proporsi guru yang memiliki sertifikat pendidik profesional. Penggunaan indikator tersebut perlu dipahami sebagai proksi kesiapan guru sehingga interpretasi hasil tetap sesuai dengan keterbatasan data yang tersedia. Selain itu, pemanfaatan data terbuka memungkinkan pengembangan indikator kebijakan yang konsisten, transparan, dan dapat direplikasi secara berkala (Janssen *et al.*, 2012; Kitchin, 2014). Penggunaan skrip pemrograman dalam pengolahan data juga membantu meningkatkan konsistensi, mengurangi kesalahan manual, dan menjaga keterlacakan proses analisis (Bližnák *et al.*, 2024; Bozkurt *et al.*, 2023; Cichy & Rass, 2019).

Sebagian besar penelitian terdahulu mengkaji infrastruktur digital, kompetensi guru, dan hasil belajar sebagai variabel yang berdiri sendiri (Dahri *et al.*, 2024; Falloon, 2020). Pendekatan tersebut belum banyak menjelaskan bagaimana ketersediaan infrastruktur digital dapat diterjemahkan menjadi pemanfaatan teknologi dalam proses pembelajaran. Selain itu, sejumlah studi secara langsung menghubungkan penggunaan teknologi dengan capaian belajar siswa tanpa terlebih dahulu menguji indikator proses

yang menggambarkan tingkat pemanfaatan teknologi di sekolah (Khan *et al.*, 2022; Mirazchiyski, 2025). Keterbatasan lainnya adalah dominasi studi berbasis survei dengan cakupan wilayah yang terbatas sehingga hasilnya sulit digunakan sebagai dasar perumusan kebijakan pada tingkat nasional (Beardsley *et al.*, 2021; Rawal, 2024). Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan model yang mengintegrasikan data administratif nasional untuk membentuk Indeks Infrastruktur Digital (DII) dan Indeks Kesiapan Guru (TRI), serta menguji hubungannya dengan intensitas pemanfaatan pembelajaran digital. Seluruh proses pengolahan data dilakukan menggunakan skrip Python yang memungkinkan pembaruan dan replikasi analisis secara berkala.

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, penelitian ini mengajukan tiga pertanyaan penelitian. Pertama, bagaimana variasi infrastruktur digital dan kesiapan guru pada jenjang SD, SMP, SMA, dan SMK di berbagai provinsi di Indonesia? Kedua, sejauh mana infrastruktur digital dan kesiapan guru berhubungan dengan intensitas pemanfaatan pembelajaran digital? Ketiga, apakah kesiapan guru memoderasi hubungan antara infrastruktur digital dan intensitas pemanfaatan pembelajaran digital?

Berdasarkan kerangka konseptual yang dikembangkan, penelitian ini mengajukan tiga hipotesis. H1: Infrastruktur digital berasosiasi positif dengan intensitas pemanfaatan pembelajaran digital (Huda, 2024; Sailer *et al.*, 2021). H2: Kesiapan guru berasosiasi positif dengan intensitas pemanfaatan pembelajaran digital (Harsanti *et al.*, 2025; Muyambi & Ramorola, 2025). H3: Kesiapan guru memperkuat hubungan antara infrastruktur digital dan intensitas pemanfaatan pembelajaran digital (Falloon, 2020; Teo, 2011).

Tujuan utama penelitian ini adalah menguji secara empiris hubungan antara infrastruktur digital, kesiapan guru, dan intensitas pemanfaatan pembelajaran digital pada tingkat provinsi dan jenjang pendidikan. Secara spesifik, sasaran operasional yang ingin dicapai meliputi (1) memetakan variasi Indeks Infrastruktur Digital (DII) dan Indeks Kesiapan Guru (TRI) antarprovinsi; (2) menguji hubungan DII dan TRI dengan intensitas pemanfaatan pembelajaran digital (UTIL); serta (3) menguji peran moderasi kesiapan guru dalam hubungan antara infrastruktur digital dan intensitas pemanfaatan pembelajaran digital.

Kontribusi penelitian ini terletak pada pengembangan indikator pemanfaatan pembelajaran digital berbasis data administratif yang dapat digunakan untuk melengkapi evaluasi digitalisasi pendidikan. Selain itu, penelitian ini menawarkan prosedur pengolahan data administratif yang terintegrasi untuk membentuk indikator pemantauan yang konsisten dan dapat direplikasi. Dari sisi kebijakan, hasil penelitian diharapkan dapat mendukung identifikasi disparitas digital antardaerah serta menjadi masukan dalam perencanaan program digitalisasi pendidikan yang lebih tepat sasaran.

## **METODE**

### **Desain, Pendekatan, Objek, dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksplanatori dengan desain observasional non-eksperimental untuk menguji hubungan antara infrastruktur digital,

kesiapan guru, dan intensitas pemanfaatan pembelajaran digital pada tingkat provinsi dan jenjang pendidikan (Aragona & De Rosa, 2019; Suominen & Hajikhani, 2021). Desain ini memungkinkan analisis hubungan asosiatif antarindikator administratif tanpa manipulasi variabel atau intervensi langsung terhadap satuan pendidikan (Hutton & Smith, 2000; Johnson, 2001).

Objek penelitian adalah sistem pendidikan dasar dan menengah di Indonesia yang dianalisis pada tingkat provinsi dan jenjang sekolah. Unit analisis mencakup 38 provinsi pada jenjang Sekolah Dasar (SD), Sekolah Menengah Pertama (SMP), Sekolah Menengah Atas (SMA), dan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK). Pemilihan level provinsi didasarkan pada relevansinya dalam perencanaan sarana pendidikan, distribusi bantuan operasional, serta pemetaan mutu guru.

Cakupan wilayah analisis meliputi seluruh provinsi di Indonesia dengan menggunakan data sekunder agregat dari Portal Data Pendidikan, khususnya kelompok Dataset Prioritas yang dikelola oleh Pusat Data dan Teknologi Informasi (Pusdatin) Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah (2026). Pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran dan ekstraksi dokumen resmi yang dipublikasikan di portal tersebut. Fase identifikasi variabel, inventarisasi data set, penyelarasan format data, hingga kalkulasi parameter regresi dilaksanakan secara intensif pada periode Mei hingga Juni 2026. Data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup serangkaian indikator tahunan yang dipilih berdasarkan ketersediaan dokumen resmi terbaru pada Portal Data Pendidikan Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah.

### **Populasi, Sampel, Teknik Sampling, dan Sumber Data**

Populasi penelitian mencakup seluruh provinsi di Indonesia, yaitu 38 provinsi. Penelitian ini menggunakan pendekatan sensus administratif sehingga seluruh provinsi yang tersedia dalam Portal Data Pendidikan dijadikan populasi penelitian tanpa melalui proses sampling. Data yang digunakan berupa data sekunder agregat tahun 2025 (tahun ajaran 2025/2026) yang bersumber dari Portal Data Pendidikan Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah, khususnya kelompok Dataset Prioritas yang dikelola oleh Pusat Data dan Teknologi Informasi (Pusdatin). Seluruh dataset tersedia dalam format XLSX dengan pembaruan tahunan dan diunduh pada 30 April 2026 untuk keperluan analisis. Karena data bersifat terbuka, berbentuk agregat, dan tidak memuat identitas individu, penelitian ini tidak memerlukan persetujuan partisipan. Seluruh sumber data dicantumkan secara lengkap pada tabel sumber data dan daftar pustaka. Meskipun seluruh provinsi dimasukkan sebagai populasi awal, sampel analisis ditentukan menggunakan pendekatan *complete-case*, yaitu hanya unit provinsi–jenjang yang memiliki data lengkap pada seluruh variabel penelitian yang diikutsertakan dalam analisis (Cai & Hayes, 2008; Öztürk *et al.*, 2024).

Sampel operasional final terdiri atas unit provinsi–jenjang yang memiliki nilai kontinu pada seluruh variabel pembentuk indeks dan variabel dependen. Perhitungan kembali rasio guru berdasarkan data jumlah pendidik berhasil menghilangkan nilai hilang (*missing values*), sehingga seluruh 38 provinsi memenuhi kriteria *complete-case*. Dengan

demikian, model gabungan (*pooled model*) menggunakan 152 observasi yang merepresentasikan empat jenjang pendidikan pada seluruh provinsi (Edu, 2022; Kitchin, 2014). Pendekatan ini memastikan bahwa seluruh unit analisis diperlakukan secara konsisten sesuai dengan kriteria inklusi yang telah ditetapkan (Ashley & Parmeter, 2020; Foidl *et al.*, 2024).

Data penelitian diperoleh dari dataset berformat XLSX yang diunduh langsung dari Portal Data Pendidikan Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah (2026), sebagaimana dirinci pada Tabel 1. Seluruh indikator kemudian dikelompokkan ke dalam tiga domain utama, yaitu sarana dan prasarana, kapasitas pendidik, serta pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran. Penelitian ini berfokus pada pembentukan variabel yang merepresentasikan pemanfaatan komputer dan internet di sekolah sebagai komponen penyusun indeks, bukan pada pengukuran langsung terhadap kompetensi belajar siswa. Seluruh variabel distandardisasi agar memiliki skala yang seragam sehingga dapat diintegrasikan ke dalam indeks komposit dan dibandingkan secara objektif antarprovinsi (Cichy & Rass, 2019; Kaplan, 2012).

Tabel 1. Sumber Data dan Peran Indikator dalam Model

Blok Data	Indikator	Sumber Data	Tahun/Rilis Data	Tanggal unduh	Unit	Peran dalam Model
Infrastruktur Digital	Akses internet untuk pengajaran	Persentase sekolah dengan akses internet untuk pengajaran 2025/2026	2025/2026	30 April 2026	Provinsi-jenjang	Komponen DII
Infrastruktur Digital	Akses komputer untuk pengajaran	Persentase sekolah dengan akses komputer untuk pengajaran 2025/2026	2025/2026	30 April 2026	Provinsi-jenjang	Komponen DII
Infrastruktur Digital	Akses listrik	Jumlah sekolah dengan akses listrik 2025/2026	2025/2026	30 April 2026	Provinsi-jenjang	Komponen DII
Infrastruktur Digital	Akses air minum layak	Jumlah sekolah dengan akses air minum layak 2025/2026	2025/2026	30 April 2026	Provinsi-jenjang	Komponen DII
Kesiapan Guru	Guru berkualifikasi minimal S1/D4	Jumlah guru berkualifikasi akademik minimal S1/D4 2025	2025	30 April 2026	Provinsi-jenjang	Komponen TRI
Kesiapan Guru	Guru bersertifikat pendidik	Jumlah guru bersertifikat pendidik 2025	2025	30 April 2026	Provinsi-jenjang	Komponen TRI
Denominator Guru	Jumlah guru per jenjang	Jumlah guru per jenjang pendidikan 2025	2025	30 April 2026	Provinsi-jenjang	Penyebut rasio QUAL dan CERT

Pemanfaatan Digital	Sekolah memanfaatkan komputer dan internet	Jumlah sekolah yang memanfaatkan komputer dan internet untuk tujuan pembelajaran 2025/2026	2025/2026	30 April 2026	Provinsi-jenjang	Pembilang UTIL
Akses Digital	Sekolah dengan akses internet pengajaran	Jumlah sekolah dengan akses internet untuk pengajaran 2025/2026	2025/2026	30 April 2026	Provinsi-jenjang	Penyebut UTIL

Sumber: Diolah peneliti dari Dataset Prioritas Portal Data Pendidikan, Tahun data 2025/2026, Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah (2026).

### Variabel Penelitian dan Operasionalisasi Indikator

Penelitian ini menggunakan tiga variabel utama, yaitu *Infrastruktur Digital (Digital Infrastructure Index; DII)*, *Kesiapan Guru (Teacher Readiness Index; TRI)*, dan *Intensitas Pemanfaatan Pembelajaran Digital (UTIL)*. Variabel UTIL berperan sebagai variabel dependen, sedangkan DII dan TRI berperan sebagai variabel independen. Untuk menguji efek moderasi, ditambahkan variabel interaksi  $DII \times TRI$  sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

DII merepresentasikan kapasitas infrastruktur sekolah dalam mendukung pembelajaran digital yang diukur melalui empat indikator, yaitu akses internet, akses komputer, akses listrik, dan akses air minum layak. Keempat indikator dinyatakan dalam bentuk persentase, distandardisasi menggunakan *z-score*, kemudian digabungkan menjadi indeks komposit dengan bobot yang sama (El Gibari *et al.*, 2019; Munda, 2012; Öztürk *et al.*, 2024).

TRI merepresentasikan kesiapan formal guru dalam mendukung pemanfaatan teknologi pembelajaran. Mengingat data administratif tingkat provinsi tidak menyediakan ukuran kompetensi pedagogi digital secara langsung, penelitian ini menggunakan dua indikator proksi, yaitu proporsi guru berkualifikasi akademik minimal S1/D4 dan proporsi guru yang memiliki sertifikat pendidik. Kedua indikator tersebut distandardisasi menggunakan *z-score* dan digabungkan menjadi indeks komposit.

UTIL digunakan sebagai indikator hasil proses yang mengukur tingkat konversi akses digital menjadi pemanfaatan pembelajaran. Variabel ini dihitung sebagai rasio antara jumlah sekolah yang menggunakan komputer dan internet untuk pembelajaran dengan jumlah sekolah yang memiliki akses internet pada provinsi dan jenjang yang sama. Nilai UTIL menggambarkan tingkat pemanfaatan aktual infrastruktur digital dalam kegiatan pembelajaran.

Formulasi matematis untuk mengubah nilai absolut menjadi persentase regional dispesifikasikan sebagai berikut:

$$P_{x,pj} = \frac{X_{pj}}{N_{pj}} \times 100$$

Keterangan:

- $P_{x,pj}$  = persentase indikator  $x$  pada provinsi  $p$  dan jenjang  $j$ ;
- $X_{pj}$  = jumlah nominal sekolah atau guru yang memenuhi kriteria spesifik;
- $N_{pj}$  = total populasi sekolah atau guru pada provinsi  $p$  dan jenjang  $j$ .

Standardisasi variabel melalui transformasi  $z$ -score dihitung menggunakan persamaan:

$$z(X_{pj}) = \frac{X_{pj} - \mu_j}{\sigma_j}$$

Keterangan:

- $z(X_{pj})$  = skor standar dari indikator pada provinsi dan jenjang  $j$ ;
- $\mu_j$  = nilai rata-rata indikator pada jenjang  $j$ ;
- $\sigma_j$  = simpangan baku indikator pada jenjang  $j$ .

Formulasi Indeks Infrastruktur Digital (DII) ditetapkan melalui persamaan:

$$DII_{pj} = \frac{1}{4}z(INT_{pj}) + \frac{1}{4}z(COMP_{pj}) + \frac{1}{4}z(ELEC_{pj}) + \frac{1}{4}z(WATER_{pj})$$

Keterangan:

- $INT$ = persentase sekolah yang memiliki akses internet untuk tujuan pengajaran;
- $ELEC$ = persentase sekolah yang memiliki akses komputer untuk tujuan pengajaran;
- $COMP$ = persentase sekolah dengan ketersediaan pasokan listrik;
- $WATER$ = persentase sekolah dengan akses fasilitas air minum layak.

Formulasi Indeks Kesiapan Guru (TRI) disusun sebagai berikut:

$$TRI_{pj} = 0,5z(QUAL_{pj}) + 0,5z(CERT_{pj})$$

Keterangan:

- $QUAL$  = persentase guru dengan kualifikasi akademik minimal S1/D4;
- $CERT$  = persentase guru yang telah memiliki sertifikasi pendidik profesional.

Formulasi Intensitas Pemanfaatan Pembelajaran Digital (UTIL) ditentukan melalui rasio:

$$UTIL_{pj} = \frac{USE_{pj}}{ACCESS_{pj}}$$

Keterangan:

- $USE_{pj}$  = jumlah nominal sekolah yang memanfaatkan komputer dan internet dalam aktivitas instruksional;
- $ACCESS_{pj}$  = jumlah nominal sekolah yang memiliki akses jaringan internet untuk pengajaran.

Tabel 2. Operasionalisasi Variabel Penelitian

Konstruk	Kode	Definisi Konsep	Indikator	Definisi Operasional	Skala	Peran
Infrastruktur Digital	DII	Reliabilitas platform sekolah untuk mendukung pembelajaran digital	Internet, komputer, listrik, air minum layak	Rata-rata z-score dari INT, COMP, ELEC, dan WATER	Indeks z-score	Variabel independen
Kesiapan Guru	TRI	Kesiapan formal guru untuk mendukung konversi akses menjadi praktik	Kualifikasi S1/D4 dan sertifikasi pendidik	Rata-rata z-score dari QUAL dan CERT	Indeks z-score	Variabel independen dan moderator
Intensitas Pemanfaatan	UTIL	Tingkat konversi akses menjadi penggunaan komputer dan internet	Sekolah menggunakan komputer; sekolah berinternet	USE dibagi ACCESS	Rasio	Variabel dependen
Interaksi Kapabilitas	DII × TRI	Efek penguatan kesiapan guru terhadap hubungan infrastruktur dan pemanfaatan	Perkalian komponen DII dan TRI	DII dikalikan TRI	Indeks interaksi	Variabel moderasi

Sumber: Diolah peneliti dari Dataset Prioritas Portal Data Pendidikan, Tahun data 2025/2026, Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah (2026).

### Instrumen Penelitian, Validasi, dan Proses Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder agregat dari Portal Data Pendidikan Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah (2026) sehingga tidak memerlukan instrumen konvensional seperti kuesioner, pedoman wawancara, atau lembar observasi lapangan. Instrumen penelitian berupa protokol ekstraksi data, *codebook*, dan skrip pemrograman Python yang digunakan untuk mengolah data secara konsisten dan dapat direplikasi (Bikaki *et al.*, 2024; Simsa *et al.*, 2026). Pendekatan ini mendukung transparansi analisis serta meminimalkan kesalahan input manual (Blišnák *et al.*, 2024; Bozkurt *et al.*, 2023; Foidl *et al.*, 2024).

Validasi data dilakukan melalui tiga tahap, yaitu: (1) validasi isi untuk memastikan kesesuaian indikator dengan konstruk DII, TRI, dan UTIL; (2) validasi teknis untuk memeriksa integritas berkas, konsistensi penamaan variabel, format data, dan

nomenklatur wilayah; serta (3) validasi logis untuk memastikan seluruh nilai berada dalam rentang yang valid dan tidak terdapat data yang hilang pada komponen indeks.

Data dikumpulkan dari berkas XLSX yang diunduh dari Portal Data Pendidikan Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah (2026). Setiap dataset kemudian diklasifikasikan berdasarkan domain indikator, periode rilis, jenjang pendidikan, dan jenis variabel pengamatan. Proses ekstraksi dan pengolahan data dilakukan menggunakan Python 3.11 dengan pustaka *pandas* dan *openpyxl* untuk membaca dan menggabungkan lembar kerja dari berbagai dataset (Chen *et al.*, 2025; Yang *et al.*, 2025). Selanjutnya, struktur data ditransformasikan ke dalam format provinsi–jenjang–indikator–nilai dan digabungkan menggunakan pengenal unik yang dibentuk dari kombinasi nama provinsi.

### **Pembersihan Data, Validasi Data, dan Teknik Analisis**

Pembersihan data dilakukan melalui standardisasi nama wilayah, penghapusan baris agregat nasional, konversi data non-numerik menjadi numerik, serta identifikasi nilai yang berada di luar rentang logis. Observasi yang tidak memenuhi kriteria validitas tidak digunakan dalam pembentukan indeks. Proses ini tidak mengurangi jumlah sampel sehingga seluruh 38 provinsi tetap dipertahankan dalam analisis.

Validasi data dilakukan dengan memeriksa konsistensi identitas wilayah, kelengkapan data, dan keberadaan seluruh komponen penyusun indeks. Nilai DII dan TRI hanya dihitung apabila seluruh indikator pembentuknya tersedia sehingga hasil analisis terhindar dari distorsi akibat penggunaan data parsial (Cichy & Rass, 2019; Foidl *et al.*, 2024).

Analisis data dilakukan dalam enam tahap, yaitu: (1) statistik deskriptif untuk menggambarkan distribusi variabel; (2) standardisasi *z-score* dan pembentukan indeks DII serta TRI; (3) pemetaan zonasi dan kuadran kapabilitas; (4) estimasi regresi *Ordinary Least Squares* (OLS) dengan *robust standard error* HC3; (5) pengujian efek moderasi melalui interaksi  $DII \times TRI$ ; dan (6) uji sensitivitas menggunakan skema pembobotan alternatif (Ashley & Parmeter, 2020; Cai & Hayes, 2008; Long & Ervin, 2000).

Model estimasi linear dasar ditentukan melalui persamaan:

$$UTIL_{pj} = \beta_0 + \beta_1 DII_{pj} + \beta_2 TRI_{pj} + \varepsilon_{pj}$$

Model perluasan untuk menguji pengaruh moderasi interaksi dispesifikasikan sebagai berikut:

$$UTIL_{pj} = \beta_0 + \beta_1 DII_{pj} + \beta_2 TRI_{pj} + \varepsilon_{pj}$$

Keterangan:

- $UTIL_{pj}$  = intensitas pemanfaatan pembelajaran digital pada provinsi dan jenjang;
- $DII_{pj}$  = nilai Indeks Infrastruktur Digital;
- $TRI_{pj}$  = nilai Indeks Kesiapan Guru;
- $DII_{pj} \times TRI_{pj}$  = suku interaksi multiplikatif antara infrastruktur dan guru;
- $\varepsilon_{pj}$  = komponen galat model (*error term*).

Kriteria pengujian model mencakup nilai signifikansi, *robust standard error*, interval kepercayaan 95%, koefisien determinasi ( $R^2$ ), serta konsistensi hasil pada uji sensitivitas (Ashley & Parmeter, 2020; Cai & Hayes, 2008). Potensi multikolinearitas dievaluasi menggunakan *Variance Inflation Factor* (VIF) (Mason & Perreault, 1991; Thompson *et al.*, 2017). Seluruh model diestimasi menggunakan *robust standard error* tipe HC3 untuk mengantisipasi heteroskedastisitas yang umum terjadi pada data agregat antarprovinsi (Long & Ervin, 2000; Mackinnon *et al.*, 2021; White, 1980).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

#### ***Kualitas Data, Cakupan Observasi, dan Jejak Sampel***

Proses pengolahan data administratif pendidikan pada tingkat provinsi dan jenjang sekolah berhasil mengintegrasikan seluruh yurisdiksi nasional tanpa mereduksi keterwakilan sampel. Perbaikan metodologis dilakukan dengan menghitung langsung rasio kualifikasi dan sertifikasi guru berdasarkan jumlah pendidik, sehingga ketidakkonsistenan yang sebelumnya muncul akibat penggunaan data persentase dapat dihilangkan. Langkah ini memastikan seluruh wilayah memenuhi kriteria kelengkapan data (*complete-case*) pada setiap jenjang pendidikan yang dianalisis. Penggabungan data tersebut menghasilkan struktur pengamatan yang seimbang, dengan masing-masing dari empat jenjang pendidikan memiliki 38 observasi. Keseimbangan jumlah observasi antarjenjang ini memungkinkan perbandingan hasil yang lebih konsisten karena perbedaan temuan antarmodel tidak dipengaruhi oleh variasi ukuran sampel, melainkan oleh karakteristik masing-masing provinsi dan jenjang pendidikan sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Jejak Sampel Analisis Berdasarkan Jenjang

Jenjang	Populasi Awal Provinsi	Alasan Utama Pengeluaran Data	Observasi Akhir
SD	38	Memenuhi kriteria <i>complete-case</i> setelah kalkulasi rasio guru	38
SMP	38	Memenuhi kriteria <i>complete-case</i> setelah kalkulasi rasio guru	38
SMA	38	Memenuhi kriteria <i>complete-case</i> setelah kalkulasi rasio guru	38
SMK	38	Memenuhi kriteria <i>complete-case</i> setelah kalkulasi rasio guru	38
<i>Pooled</i>	152	Gabungan seimbang dari 38 provinsi × 4 jenjang	152

Sumber: Diolah peneliti dari Dataset Prioritas Portal Data Pendidikan, Tahun data 2025/2026, Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah (2026).

### **Kondisi Infrastruktur Digital, Kesiapan Guru, dan Pemanfaatan Pembelajaran Digital**

Statistik deskriptif menunjukkan adanya variasi kondisi infrastruktur digital dan kesiapan guru pada setiap jenjang pendidikan. Berdasarkan Tabel 4, akses listrik telah tersedia secara luas dan relatif merata di seluruh jenjang pendidikan. Namun, ketersediaan komputer untuk kegiatan pembelajaran masih menjadi komponen infrastruktur yang paling terbatas. Keterbatasan ini terutama terlihat pada jenjang pendidikan dasar, yang turut menjelaskan rendahnya tingkat pemanfaatan teknologi pembelajaran (UTIL) pada sektor tersebut. Pada aspek kapasitas guru, proporsi pendidik yang memiliki kualifikasi sarjana menunjukkan kondisi yang relatif merata di seluruh wilayah. Sebaliknya, capaian sertifikasi profesional pendidik masih memperlihatkan variasi yang cukup besar antarprovinsi dan jenjang pendidikan. Temuan ini mengindikasikan bahwa tantangan peningkatan kualitas guru di Indonesia saat ini lebih berkaitan dengan penguatan profesionalisasi melalui sertifikasi dibandingkan dengan pemenuhan kualifikasi akademik dasar.

Tabel 4. Statistik Deskriptif Indikator Kapabilitas Berdasarkan Jenjang

Jenjang	N	Internet Pengajaran Mean (SD)	Komputer Pengajaran Mean (SD)	Listrik Mean (SD)	Air Minum Layak Mean (SD)	Kualifikasi S1/D4 Mean (SD)	Sertifikasi Pendidik Mean (SD)	UTIL Mean (SD)
SD	38	76,8 (16,1)	12,6 (6,8)	96,2 (7,1)	70,1 (9,3)	95,0 (5,8)	55,6 (15,7)	0,142 (0,066)
SMP	38	81,5 (13,3)	42,5 (11,5)	98,6 (3,4)	71,3 (6,2)	97,5 (2,5)	58,3 (10,6)	0,455 (0,104)
SMA	38	88,3 (10,0)	48,5 (12,9)	99,4 (1,7)	73,1 (6,3)	98,6 (0,8)	65,2 (11,0)	0,512 (0,118)
SMK	38	89,8 (8,5)	56,4 (11,3)	99,8 (0,7)	71,9 (5,8)	97,1 (1,7)	60,5 (10,4)	0,589 (0,104)

Sumber: Diolah peneliti dari Portal Data Pendidikan, Pusat Data dan Teknologi Informasi, data tahun 2025/2026, Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah (2026).

Korelasi dan *Variance Inflation Factor (VIF)* digunakan untuk mengidentifikasi hubungan awal antarvariabel serta potensi multikolinearitas dalam model. Hasil yang disajikan dalam Tabel 5 menunjukkan bahwa indeks infrastruktur digital (*DII*) dan indeks kesiapan guru (*TRI*) memiliki hubungan positif yang cukup kuat. Namun, seluruh nilai *VIF* masih berada jauh di bawah ambang batas yang umumnya digunakan untuk menunjukkan adanya masalah multikolinearitas. Pola korelasi juga memperlihatkan bahwa hubungan antara indeks infrastruktur (*DII*) dan pemanfaatan pembelajaran digital (*UTIL*) lebih kuat dibandingkan dengan hubungan antara kesiapan guru (*TRI*) dan *UTIL*. Temuan awal ini mengindikasikan bahwa ketersediaan dan kualitas infrastruktur digital memiliki peran yang lebih konsisten dalam mendorong pemanfaatan pembelajaran digital dibandingkan faktor kualifikasi formal guru.

Tabel 5. Statistik Deskriptif, Korelasi, dan VIF

No.	Variabel	Mean (SD)	DII	TRI	UTIL	VIF
1	DII	0,00 (0,79)	1,00	-	-	1,886
2	TRI	-0,00 (0,95)	0,685	1,00	-	1,886
3	UTIL	0,42 (0,20)	0,340	0,233	1,00	-

Sumber: Diolah peneliti dari Dataset Prioritas Portal Data Pendidikan, Tahun data 2025/2026, Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah (2026).

### ***Pemetaan Zonasi dan Kuadran Kapabilitas***

Pengelompokan spasial dilakukan menggunakan dua pendekatan kategorisasi yang berbeda untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif bagi pengambil kebijakan. Klasifikasi tiga zona digunakan untuk memetakan posisi relatif setiap provinsi secara umum, sedangkan matriks kuadran DII–TRI digunakan untuk mengidentifikasi keselarasan antara kondisi infrastruktur digital dan kesiapan guru. Hasil pengelompokan pada Tabel 6 menunjukkan bahwa sebagian besar provinsi berada pada kategori menengah atau zona transisi. Temuan ini mengindikasikan bahwa kapasitas infrastruktur digital dan kesiapan guru belum berkembang secara seimbang di banyak wilayah. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kebijakan peningkatan pembelajaran digital tidak dapat diterapkan secara seragam. Intervensi perlu disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing daerah, baik melalui penguatan infrastruktur digital maupun peningkatan kapasitas dan profesionalisme guru.

Tabel 6. Zonasi Kapabilitas Berdasarkan Jenjang

Jenjang	N	Zona Rendah	Zona Moderat	Zona Tinggi
SD	38	9	20	9
SMP	38	9	23	6
SMA	38	9	25	4
SMK	38	6	28	4

Sumber: Diolah peneliti dari Dataset Prioritas Portal Data Pendidikan, Tahun data 2025/2026, Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah (2026).

Analisis lanjutan menggunakan klasifikasi empat kuadran pada Tabel 7 memungkinkan identifikasi wilayah yang telah memiliki keseimbangan antara infrastruktur digital dan kesiapan guru, serta wilayah yang masih menghadapi keterbatasan pada salah satu atau kedua aspek tersebut. Provinsi yang berada pada kuadran rendah menjadi prioritas utama untuk memperoleh intervensi terpadu melalui penyediaan infrastruktur digital dan peningkatan kapasitas guru secara simultan. Sebaliknya, daerah dengan capaian DII yang lebih tinggi namun memiliki nilai TRI yang rendah menuntut perhatian pada penguatan kompetensi dan profesionalisme guru agar infrastruktur yang tersedia dapat dimanfaatkan secara optimal. Pola ini menunjukkan bahwa

Tabel 7. Kuadran DII-TRI Berdasarkan Jenjang

Jenjang	Kuadran Kapabilitas	Jumlah Provinsi
SD	DII rendah – TRI rendah	16
	DII rendah – TRI tinggi	3
	DII tinggi – TRI rendah	3
	DII tinggi – TRI tinggi	16
SMP	DII rendah – TRI rendah	13
	DII rendah – TRI tinggi	6
	DII tinggi – TRI rendah	6
	DII tinggi – TRI tinggi	13
SMA	DII rendah – TRI rendah	12
	DII rendah – TRI tinggi	7
	DII tinggi – TRI rendah	7
	DII tinggi – TRI tinggi	12
SMK	DII rendah – TRI rendah	10
	DII rendah – TRI tinggi	9
	DII tinggi – TRI rendah	9
	DII tinggi – TRI tinggi	10

Sumber: Diolah peneliti dari Dataset Prioritas Portal Data Pendidikan, Tahun data 2025/2026, Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah (2026).

keberhasilan transformasi pembelajaran digital tidak hanya bergantung pada ketersediaan teknologi, tetapi juga pada kesiapan sumber daya manusia yang menggunakannya.

Penyelarasan posisi kuadran terhadap pemanfaatan teknologi (UTIL) pada Tabel 8 menunjukkan manfaat praktis dari instrumen pemetaan yang digunakan. Provinsi yang berada pada kuadran dengan tingkat infrastruktur digital dan kesiapan guru yang sama-sama tinggi cenderung memiliki tingkat pemanfaatan teknologi yang lebih baik dibandingkan dengan provinsi lainnya. Pola ini terlihat secara konsisten, terutama pada jenjang pendidikan menengah atas dan kejuruan, di mana tidak ada provinsi dalam kategori rendah yang mampu mencapai tingkat pemanfaatan teknologi yang tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran memerlukan dukungan yang seimbang antara infrastruktur digital dan kapasitas guru. Dengan kata lain, peningkatan efisiensi dan efektivitas pembelajaran digital di daerah tidak cukup dilakukan melalui penyediaan teknologi saja, tetapi juga harus diikuti dengan penguatan kompetensi pendidik.

Tabel 8. Kategori UTIL Berdasarkan Kuadran DII-TRI

Jenjang	Kuadran Kapabilitas	UTIL Rendah	UTIL Moderat	UTIL Tinggi
SD	DII rendah – TRI rendah	9	7	0
	DII rendah – TRI tinggi	3	0	0
	DII tinggi – TRI rendah	1	0	2
	DII tinggi – TRI tinggi	0	5	11
SMP	DII rendah – TRI rendah	8	3	2
	DII rendah – TRI tinggi	2	1	3
	DII tinggi – TRI rendah	3	2	1
	DII tinggi – TRI tinggi	0	6	7
SMA	DII rendah – TRI rendah	8	2	2
	DII rendah – TRI tinggi	2	4	1
	DII tinggi – TRI rendah	3	2	2
	DII tinggi – TRI tinggi	0	4	8
SMK	DII rendah – TRI rendah	7	2	1
	DII rendah – TRI tinggi	3	6	0
	DII tinggi – TRI rendah	2	3	4
	DII tinggi – TRI tinggi	1	1	8

Sumber: Diolah peneliti dari Dataset Prioritas Portal Data Pendidikan, Tahun data 2025/2026, Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah (2026).

### Hasil Model Utama: Hubungan DII dan TRI terhadap UTIL

Pengujian hipotesis pertama dan kedua dilakukan menggunakan regresi Ordinary Least Squares (OLS) dengan koreksi kesalahan standar *robust* tipe HC3. Hasil estimasi Tabel 9 menunjukkan bahwa indeks infrastruktur digital (DII) memiliki hubungan positif dan signifikan dengan pemanfaatan teknologi pembelajaran (UTIL) pada seluruh jenjang Pendidikan maupun model gabungan (*pooled model*). Temuan ini memberikan dukungan empiris terhadap H1. Pengaruh DII terlihat paling kuat pada jenjang SMA dan SMK, di mana peningkatan satu unit indeks infrastruktur berkorelasi dengan kenaikan pemanfaatan teknologi hingga 0,100 unit. Sebaliknya, indeks kesiapan guru (TRI) tidak menunjukkan hubungan yang signifikan secara statistik pada sebagian besar model yang diuji. Hasil ini mengindikasikan bahwa kesiapan guru yang diukur melalui kualifikasi akademik dan sertifikasi profesional belum mampu menjelaskan variasi pemanfaatan teknologi secara mandiri setelah pengaruh infrastruktur digital diperhitungkan.

Tabel 9. Hasil Regresi OLS *Robust* HC3: DII dan TRI terhadap UTIL

Model	N	$\beta$ DII	SE DII	p DII	95% CI DII	$\beta$ TRI	SE TRI	p TRI	95% CI TRI	R <sup>2</sup>
SD	38	0,083	0,026	0,003	[0,030; 0,136]	-0,030	0,021	0,152	[-0,073; 0,012]	0,513
SMP	38	0,083	0,035	0,024	[0,011; 0,155]	0,002	0,033	0,945	[-0,065; 0,069]	0,455
SMA	38	0,092	0,030	0,005	[0,030; 0,153]	0,016	0,026	0,534	[-0,036; 0,069]	0,522
SMK	38	0,100	0,033	0,005	[0,032; 0,167]	0,008	0,020	0,699	[-0,032; 0,047]	0,509
<i>Pooled</i>	152	0,085	0,027	0,002	[0,031; 0,138]	0,000	0,024	0,997	[-0,047; 0,047]	0,116

Sumber: Diolah peneliti dari Dataset Prioritas Portal Data Pendidikan, Tahun data 2025/2026, Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah (2026).

### **Hasil Uji Moderasi DII x TRI**

Model regresi diperluas dengan menambahkan variabel interaksi antara indeks infrastruktur digital (DII) dan indeks kesiapan guru (TRI) untuk menguji hipotesis ketiga (H3) mengenai peran moderasi kesiapan guru. Hasil pengujian dalam Tabel 10 menunjukkan bahwa koefisien interaksi DIIxTRI bernilai positif pada seluruh model, tetapi tidak signifikan secara statistik. Dengan demikian, tidak ditemukan bukti bahwa kesiapan guru memperkuat hubungan antara infrastruktur digital dan pemanfaatan teknologi pembelajaran. Temuan ini mengindikasikan bahwa indikator kesiapan guru yang diukur melalui kualifikasi akademik dan sertifikasi profesional belum sepenuhnya mencerminkan kemampuan pedagogi digital yang dibutuhkan dalam pemanfaatan teknologi di kelas. Oleh karena itu, upaya peningkatan kualitas pembelajaran digital tidak cukup hanya berfokus pada pemenuhan persyaratan administratif, tetapi juga perlu diarahkan pada penguatan kompetensi digital dan pedagogis guru melalui program pelatihan yang lebih relevan.

### **Uji Sensitivitas Model**

Uji ketahanan (*robustness test*) dilakukan untuk memastikan bahwa hubungan antara variabel yang ditemukan tetap konsisten pada berbagai spesifikasi model dan perlakuan data. Hasil pada Tabel 11 menunjukkan bahwa arah dan signifikansi koefisien positif indeks infrastruktur digital (DII) tetap stabil ketika indeks dibangun menggunakan pembobotan *Principal Component Analysis* (PCA) maupun ketika nilai ekstrem ditangani melalui metode *winsorization*. Sebaliknya, ketika indikator akses komputer dikeluarkan dari pembentukan indeks DII, pengaruh infrastruktur digital terhadap pemanfaatan teknologi pembelajaran melemah dan tidak lagi signifikan secara statistik. Temuan ini menunjukkan bahwa akses komputer merupakan komponen penting dalam infrastruktur

Tabel 10. Hasil Uji Moderasi DII TRI terhadap UTIL

Model	N	$\beta$ DII (SE)	p	$\beta$ TRI (SE)	p	$\beta$ DII×TRI (SE)	p	95% CI DII×TRI	R <sup>2</sup>
SD	38	0,085 (0,023)	0,001	-0,013 (0,024)	0,592	0,014 (0,031)	0,660	[-0,049; 0,076]	0,578
SMP	38	0,090 (0,040)	0,031	0,042 (0,031)	0,184	0,021 (0,098)	0,835	[-0,179; 0,220]	0,540
SMA	38	0,110 (0,041)	0,011	0,025 (0,029)	0,409	0,014 (0,016)	0,402	[-0,019; 0,046]	0,541
SMK	38	0,128 (0,020)	0,000	0,014 (0,024)	0,562	0,028 (0,022)	0,219	[-0,018; 0,074]	0,566
<i>Pooled</i>	152	0,087 (0,031)	0,005	0,002 (0,027)	0,945	0,002 (0,012)	0,844	[-0,021; 0,025]	0,116

Sumber: Diolah peneliti dari Portal Data Pendidikan, Tahun data 2025/2026, Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah (2026).

digital sekolah. Tanpa ketersediaan perangkat yang memadai, pemanfaatan teknologi dalam proses pembelajaran sulit dilakukan secara optimal.

Tabel 11. Uji Sensitivitas Model *Pooled*

Spesifikasi	N	$\beta$ DII	SE DII	p DII	95% CI DII	$\beta$ TRI	SE TRI	p TRI	95% CI TRI	R <sup>2</sup>
<i>Baseline</i> DII4 equal-weight	152	0,085	0,027	0,002	[0,031; 0,138]	0,000	0,024	0,997	[-0,047; 0,047]	0,116
DII tanpa akses komputer	152	0,036	0,025	0,156	[- 0,014; 0,085]	0,028	0,025	0,259	[-0,021; 0,076]	0,061
PCA-weighted DII4	152	0,077	0,022	0,001	[0,032; 0,121]	- 0,010	0,024	0,674	[-0,058; 0,038]	0,121
<i>Winsorized</i> UTIL 1%–99%	152	0,084	0,027	0,002	[0,031; 0,138]	0,000	0,024	0,990	[-0,047; 0,046]	0,116

Sumber: Hasil estimasi peneliti berdasarkan dataset sekunder agregat Portal Data Pendidikan, Pusat Data dan Teknologi Informasi, tahun data 2025/2026. Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah (2026)

## Pembahasan

Hasil estimasi menunjukkan bahwa infrastruktur digital merupakan faktor yang paling konsisten berhubungan dengan intensitas pemanfaatan pembelajaran digital. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan teknologi dalam pembelajaran digital tidak hanya bergantung pada ketersediaan fasilitas, tetapi juga pada kemampuan fasilitas tersebut

digunakan secara efektif di sekolah (Timotheou *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2024). Dalam penelitian ini, indeks DII mencakup akses internet, ketersediaan komputer, pasokan listrik, dan sanitasi dasar, sehingga mampu menggambarkan kesiapan infrastruktur sekolah yang menyeluruh. Hubungan positif dan signifikan antara DII dan pemanfaatan pembelajaran digital ditemukan pada seluruh jenjang pendidikan yang dianalisis. Hasil ini mendukung asumsi bahwa kualitas infrastruktur merupakan prasyarat penting bagi pemanfaatan teknologi di sekolah (Ashley & Parmeter, 2020; Kaplan, 2012). Temuan ini menjelaskan rendahnya pemanfaatan teknologi pada jenjang sekolah dasar, yang masih menghadapi keterbatasan perangkat computer meskipun jaringan internet telah tersedia (Huda, 2024; Muyambi & Ramorola, 2025). Oleh karena itu, kebijakan digitalisasi pendidikan perlu lebih diarahkan pada pemanfaatan infrastruktur yang tersedia, bukan sekadar mengejar pemenuhan target penyediaan sarana secara administratif (Aldosemani, 2023; Khan *et al.*, 2022).

Tidak signifikannya pengaruh kesiapan guru dalam model utama maupun model interaksi memberikan gambaran mengenai keterbatasan indikator administratif yang digunakan. Temuan ini tidak berarti bahwa peran guru tidak penting dalam pembelajaran digital, tetapi menunjukkan bahwa indikator formal, seperti kualifikasi akademik dan sertifikasi profesional, belum sepenuhnya mampu menggambarkan kompetensi digital guru yang sebenarnya. Kompetensi tersebut mencakup berbagai aspek, seperti kemampuan menggunakan teknologi, mengembangkan media pembelajaran, mengelola kelas digital, hingga efikasi diri dalam memanfaatkan aplikasi pembelajaran secara efektif (Falloon, 2020; Skantz-Åberg *et al.*, 2022). Hasil ini menunjukkan bahwa pemenuhan persyaratan administratif belum tentu sejalan dengan kemampuan guru dalam mengintegrasikan teknologi ke dalam proses pembelajaran (Fang & Xueyun, 2025; Lohr *et al.*, 2024). Temuan tersebut juga sejalan dengan perkembangan kebijakan pendidikan di berbagai negara yang mulai mengalihkan perhatian dari pemenuhan dokumen formal menuju penguatan dan evaluasi kompetensi digital guru secara lebih nyata, termasuk kemampuan merancang pembelajaran yang adaptif dan berbasis teknologi (Olofsson *et al.*, 2020; Pata *et al.*, 2022).

Variabel interaksi yang tidak signifikan menunjukkan bahwa kesiapan guru (TRI) belum berperan sebagai faktor yang memperkuat hubungan antara infrastruktur digital dan pemanfaatan teknologi pembelajaran. Dengan kata lain, peningkatan kesiapan guru yang diukur melalui indikator formal belum terbukti meningkatkan pengaruh infrastruktur digital terhadap tingkat pemanfaatan teknologi di sekolah. Meskipun demikian, hasil ini tidak mengurangi manfaat model pemetaan kuadran yang digunakan dalam analisis wilayah. Temuan menunjukkan bahwa provinsi yang memiliki tingkat infrastruktur digital dan kesiapan guru yang sama-sama tinggi cenderung berada pada kelompok dengan pemanfaatan teknologi yang lebih optimal (Somekh, 2008; Yang *et al.*, 2025). Perbedaan hasil tersebut dapat dipahami karena model regresi menguji hubungan statistik antarvariabel secara kontinu, sedangkan analisis kuadran digunakan untuk mengidentifikasi kondisi wilayah dan menentukan prioritas kebijakan (Ashley & Parmeter, 2020; Cai & Hayes, 2008). Tidak signifikannya efek interaksi juga dapat dipengaruhi

oleh keterbatasan indikator TRI yang hanya merepresentasikan aspek formal, seperti kualifikasi akademik dan sertifikasi profesional. Indikator tersebut belum mencakup aspek yang lebih substantif, seperti pengalaman pelatihan teknologi pembelajaran atau tingkat kompetensi digital guru. Oleh karena itu, pemetaan kuadran tetap relevan sebagai dasar perumusan kebijakan karena mampu membantu pemerintah membedakan kebutuhan setiap daerah, baik dalam penyediaan infrastruktur digital maupun peningkatan kapasitas pendidik sesuai dengan kondisi lokal (Liu *et al.*, 2025; Sandee, 2016).

Temuan penelitian ini memiliki implikasi penting bagi pengembangan kebijakan transformasi digital di bidang pendidikan. Evaluasi keberhasilan transformasi digital perlu bergeser dari fokus pada penyediaan infrastruktur menuju pengukuran tingkat pemanfaatan teknologi dalam proses pembelajaran (Aldosemani, 2023; Edu, 2022). Dengan demikian, penilaian kinerja tidak hanya didasarkan pada jumlah komputer yang tersedia atau cakupan akses internet, tetapi juga pada sejauh mana teknologi tersebut digunakan secara efektif dalam kegiatan belajar mengajar (Mirazchiyski, 2025; Olofsson *et al.*, 2020). Selain itu, penggunaan klasifikasi wilayah berbasis zona dapat membantu pemerintah dalam menentukan prioritas program secara lebih tepat. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi daerah yang memerlukan dukungan pada kedua aspek sekaligus, yaitu infrastruktur digital dan kapasitas guru, serta daerah yang lebih membutuhkan penguatan pada aspek tertentu sesuai dengan kondisi dan kebutuhan lokal.

Bagi Kemendikdasmen, Balai Penjaminan Mutu Pendidikan (BPMP)/Balai Besar Penjaminan Mutu Pendidikan (BBPMP), dan dinas pendidikan provinsi, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar untuk memperkuat sistem pemantauan program digitalisasi pendidikan. Pengukuran keberhasilan program tidak hanya perlu memperhatikan ketersediaan akses internet dan perangkat komputer, tetapi juga tingkat pemanfaatannya dalam proses pembelajaran. Dengan demikian, evaluasi kebijakan dapat memberikan gambaran yang lebih utuh mengenai efektivitas investasi teknologi di sekolah. Pada daerah dengan tingkat infrastruktur digital (DII) yang rendah, kebijakan perlu difokuskan pada penyediaan perangkat dan peningkatan kualitas fasilitas pendukung. Sementara itu, pada daerah yang telah memiliki infrastruktur digital yang memadai tetapi tingkat pemanfaatan teknologi (UTIL) masih rendah, perhatian perlu diarahkan pada peningkatan kapasitas guru, pendampingan penggunaan teknologi, serta penguatan integrasi teknologi dalam kegiatan pembelajaran.

Pengalaman di berbagai sistem pendidikan menunjukkan bahwa keberhasilan digitalisasi pendidikan tidak hanya diukur dari ketersediaan perangkat dan akses internet, tetapi juga dari kompetensi digital guru, dukungan lingkungan sekolah, serta tingkat penggunaan teknologi dalam proses pembelajaran (Huda, 2024; Liu *et al.*, 2025). Temuan tersebut menunjukkan bahwa pengembangan infrastruktur perlu diikuti dengan upaya peningkatan kapasitas guru teknologi untuk dapat dimanfaatkan secara efektif dalam kegiatan belajar mengajar. Dalam konteks Indonesia, hasil penelitian ini mendukung pengembangan sistem pemantauan atau dashboard kebijakan yang tidak hanya mencatat

jumlah sekolah yang telah terhubung dengan internet, tetapi juga mengukur sejauh mana teknologi digunakan untuk mendukung proses pembelajaran. Dengan pendekatan tersebut, evaluasi program digitalisasi pendidikan dapat lebih berfokus pada hasil pemanfaatan, bukan hanya pada ketersediaan sarana.

Penelitian ini memberikan tiga kontribusi utama bagi pengembangan kajian digitalisasi pendidikan dan tata kelola sektor publik. Pertama, penelitian ini berfokus pada indikator proses dengan menggunakan pemanfaatan teknologi pembelajaran (UTIL) sebagai ukuran untuk memahami bagaimana kebijakan digitalisasi diterapkan di sekolah. Pendekatan ini berbeda dari penelitian yang umumnya lebih menekankan pada pengukuran hasil belajar atau capaian kognitif peserta didik. Kedua, penelitian ini mengembangkan indeks infrastruktur digital (DII) yang menggabungkan beberapa komponen penting, yaitu akses internet, ketersediaan komputer, pasokan listrik, dan sanitasi dasar. Pendekatan tersebut memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kesiapan infrastruktur yang mendukung penggunaan teknologi dalam pembelajaran. Ketiga, penelitian ini menawarkan pendekatan metodologis berbasis skrip pemrograman Python untuk mengolah dan menganalisis data administratif pendidikan secara terintegrasi. Pendekatan ini meningkatkan konsistensi, transparansi, dan replikabilitas analisis, sehingga dapat digunakan kembali secara berkala ketika data administratif terbaru tersedia.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan agar hasilnya tidak diinterpretasikan melebihi cakupan data yang digunakan (Aragona & De Rosa, 2019; Yang *et al.*, 2025). Pertama, model yang dibangun tidak mengukur secara langsung hasil belajar atau capaian kompetensi siswa, tetapi berfokus pada tingkat pemanfaatan teknologi dalam proses pembelajaran di sekolah (Ashley & Parmeter, 2020; Zagan & Danubianu, 2023). Kedua, indikator kesiapan guru (TRI) disusun berdasarkan data administratif, yaitu kualifikasi akademik dan sertifikasi profesional. Oleh karena itu, indikator ini tidak sepenuhnya menggambarkan kompetensi pedagogi digital guru yang sebenarnya dalam praktik pembelajaran. Ketiga, desain penelitian menggunakan data lintas wilayah pada satu periode pengamatan sehingga tidak memungkinkan penarikan kesimpulan kausal secara langsung. Dengan demikian, hubungan yang ditemukan dalam penelitian ini perlu dipahami sebagai indikasi empiris yang dapat mendukung perumusan kebijakan, bukan sebagai bukti sebab-akibat yang pasti (Chatterjee *et al.*, 2023; Johnson, 2001).

## **SIMPULAN DAN SARAN**

### **Simpulan**

Penelitian ini menyimpulkan bahwa perbedaan tingkat pemanfaatan pembelajaran digital antarwilayah lebih erat berkaitan dengan kesiapan infrastruktur digital dibandingkan dengan kesiapan guru yang diukur melalui indikator formal. Infrastruktur digital yang mencakup akses internet, ketersediaan komputer, pasokan listrik, dan fasilitas pendukung lainnya merupakan prasyarat penting bagi sekolah untuk memanfaatkan teknologi dalam proses pembelajaran. Tantangan digitalisasi pendidikan tidak hanya berkaitan dengan

perluasan konektivitas, tetapi juga dengan ketersediaan sarana yang dapat dimanfaatkan secara efektif dalam kegiatan pembelajaran di kelas. Oleh karena itu, peningkatan pemanfaatan teknologi pembelajaran perlu didukung oleh penyediaan perangkat dan fasilitas digital yang memadai serta disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing daerah.

Kesiapan guru yang diproksikan melalui kualifikasi akademik dan sertifikasi pendidik belum cukup kuat menjelaskan variasi pemanfaatan digital antardaerah. Ketiadaan hubungan linier tersebut memberikan indikasi bahwa status administrasi yang melekat pada seorang guru belum mencerminkan derajat penguasaan kompetensi pedagogi digital yang sesungguhnya di lapangan. Konstruksi kesiapan pendidik menuntut reorientasi definisi yang lebih substantif, yang mencakup ketangkasan merancang kurikulum virtual, pemilihan media instruksional adaptif, hingga efikasi diri dalam mengoperasikan aplikasi pembelajaran. Dengan demikian, pembenahan indikator pada level makro menjadi penting agar pangkalan data pendidikan dapat merepresentasikan kapasitas riil guru dalam menopang transformasi pembelajaran.

Interaksi antara infrastruktur digital dan kesiapan guru belum terbukti secara statistik sebagai faktor yang memperkuat pemanfaatan pembelajaran digital. Namun, pemetaan kuadran tetap berguna untuk mengidentifikasi wilayah yang memerlukan penguatan infrastruktur, peningkatan kapasitas guru, atau intervensi terpadu. Bagi pengambil kebijakan, pemetaan ini dapat berfungsi sebagai instrumen diagnostik untuk menetapkan prioritas dukungan sesuai dengan kebutuhan masing-masing daerah. Temuan ini juga menegaskan bahwa pemanfaatan pembelajaran digital perlu dipahami sebagai luaran antara, sedangkan peningkatan kompetensi kognitif siswa merupakan capaian jangka panjang. Karena itu, hasil penelitian ini lebih tepat diposisikan sebagai sinyal awal bagi perumusan kebijakan bahwa penguatan infrastruktur digital perlu disertai kepemimpinan instruksional dan tata kelola implementasi yang berkelanjutan agar transformasi digital benar-benar berdampak pada mutu pendidikan.

## **Saran**

Berdasarkan simpulan di atas, penguatan digitalisasi pendidikan perlu diarahkan tidak hanya pada perluasan akses, tetapi juga pada peningkatan pemanfaatan teknologi secara nyata dalam pembelajaran. Dalam konteks ini, pemerintah pusat, pemerintah daerah, dan satuan kerja terkait perlu memperluas indikator keberhasilan digitalisasi pendidikan dari sekadar pemenuhan akses menuju pemantauan penggunaan teknologi dalam pembelajaran. Evaluasi kebijakan tidak seharusnya tarpaku pada penghitungan jumlah komputer atau perluasan jangkauan sinyal internet secara administratif, melainkan juga perlu menilai sejauh mana teknologi benar-benar digunakan secara fungsional di ruang kelas. Instrumen penargetan program berbasis klasifikasi zona dapat dimanfaatkan untuk memprioritaskan penyediaan perangkat keras dan stabilisasi jaringan pada wilayah yang masih mengalami defisit sarana dasar. Sebaliknya, pada daerah yang secara relatif telah memiliki fasilitas lebih baik tetapi tingkat pemanfaatannya masih rendah, fokus intervensi perlu diarahkan pada evaluasi manajemen operasional sekolah, penguatan

dukungan teknis, dan integrasi kurikulum digital. Strategi diferensiasi spasial semacam ini penting agar alokasi anggaran lebih efisien dan kebijakan digitalisasi tidak berujung pada penerapan program yang seragam tanpa mempertimbangkan kebutuhan daerah.

Selain penguatan infrastruktur, peningkatan kapasitas guru juga perlu diarahkan melampaui kualifikasi akademik dan sertifikasi pendidik. Pemerintah perlu menyusun matriks penilaian kesiapan guru yang lebih substantif dan adaptif terhadap dinamika pembelajaran modern, misalnya dengan memasukkan aspek penguasaan pedagogi digital, kemampuan mengelola platform pembelajaran virtual, serta literasi data untuk evaluasi hasil belajar siswa. Penguatan kompetensi profesional yang terukur secara lebih relevan ini diharapkan dapat mempercepat konversi ketersediaan teknologi menjadi praktik pembelajaran yang produktif di sekolah. Dalam kaitan tersebut, penyusunan pangkalan data guru yang mutakhir dan memuat informasi mengenai kecakapan teknologi instruksional menjadi prasyarat penting agar arah pengembangan profesi dapat diselaraskan dengan kebutuhan digitalisasi pembelajaran.

Dalam konteks pengembangan penelitian dan evaluasi kebijakan, analisis pada masa mendatang perlu diarahkan pada integrasi data panel multi-tahun serta penyertaan indikator hasil belajar siswa yang terdisagregasi secara konsisten di tingkat provinsi. Penambahan variabel luaran, seperti capaian literasi dan numerasi nasional, penting untuk menilai sejauh mana pemanfaatan pembelajaran digital benar-benar berkontribusi terhadap peningkatan mutu pendidikan. Secara lebih strategis, model analisis terpadu yang dibangun melalui dukungan skrip pemrograman otomatis berpotensi dikembangkan menjadi dasbor pemantauan kebijakan satu pintu (*policy dashboard*). Pemutakhiran instrumen evaluasi secara berkala melalui sistem tersebut akan membantu menempatkan tata kelola digitalisasi pendidikan tidak sekadar pada pemenuhan target pengadaan, tetapi pada upaya pemerataan kualitas pembelajaran yang lebih terukur dan berkelanjutan.

## PUSTAKA ACUAN

- Ashley, R.A., & Parmeter, C.F. (2020). Sensitivity analysis of an OLS multiple regression inference with respect to possible linear endogeneity in the explanatory variables, for both modest and for extremely large samples. *Econometrics*, 8(1), 11. <https://doi.org/10.3390/econometrics8010011>
- Aldosemani, T. I. (2023). *e-School initiatives that instigated digital transformation in education: A case study according to SABER-ICT Framework*. In C. Gaie & M. Mehta (Eds.), *Recent Advances in Data and Algorithms for e-Government. Artificial Intelligence-Enhanced Software and Systems Engineering* (Vol. 5, pp. 23–54). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-22408-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-22408-9_2)
- Aragona, B., & De Rosa, R. (2019). Big data in policy making. *Mathematical Population Studies*, 26(2), 107–113. <https://doi.org/10.1080/08898480.2017.1418113>
- Badan Pusat Statistik. (2025). *Indeks pembangunan teknologi informasi dan komunikasi 2024*. <https://www.bps.go.id/id/publication/2025/09/30/>

12567c4a325929839ae63740/indeks-pembangunan-teknologi-informasi-dan-komunikasi-2024.html

- Beardsley, M., Albó, L., Aragón, P., & Hernández-Leo, D. (2021). Emergency education effects on teacher abilities and motivation to use digital technologies. *British Journal of Educational Technology*, 52(4), 1455–1477. <https://doi.org/10.1111/bjet.13101>
- Bikaki, A., Peters, M., Krozel, J., & Kakadiaris, I. A. (2024). Building an open-source collaborative platform for migration research: A metadata modeling approach using XML. *Knowledge-Based Systems*, 299, 111823. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2024.111823>
- Blišnák, K., Munk, M., & Pilková, A. (2024). A systematic review of recent literature on data governance (2017–2023). *IEEE Access*, 12(1), 149875–149888. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3476373>
- Bozkurt, Y., Rossmann, A., Konanahalli, A., & Pervez, Z. (2023). Toward urban data governance: Status-quo, challenges, and success factors. *IEEE Access*, 11, 85656–85677. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3302835>
- Brunetti, F., Matt, D. T., Bonfanti, A., De Longhi, A., Pedrini, G., & Orzes, G. (2020). Digital transformation challenges: Strategies emerging from a multi-stakeholder approach. *TQM Journal*, 32(4), 697–724. <https://doi.org/10.1108/TQM-12-2019-0309>
- Cai, L., & Hayes, A. F. (2008). A new test of linear hypotheses in OLS regression under heteroscedasticity of unknown form. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 33(1), 21–40. <https://doi.org/10.3102/1076998607302628>
- Chatterjee, S., Chaudhuri, R., Gupta, S., Sivarajah, U., & Bag, S. (2023). Assessing the impact of big data analytics on decision-making processes, forecasting, and performance of a firm. *Technological Forecasting and Social Change*, 196, 122824. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122824>
- Chen, Y., Yuan, Y., Zhang, Z., Zheng, Y., Liu, J., Ni, F., Hao, J., Mao, H., & Zhang, F. (2025). SheetAgent: Towards a generalist agent for spreadsheet reasoning and manipulation via large language models. *Proceedings of the ACM on Web Conference 2025*, 158–177. <https://doi.org/10.1145/3696410.3714962>
- Cichy, C., & Rass, S. (2019). An overview of data quality frameworks. *IEEE Access*, 7, 24634–24648. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2899751>
- Dahri, N. A., Yahaya, N., Al-Rahmi, W. M., Almogren, A. S., & Vighio, M. S. (2024). Investigating factors affecting teachers' training through mobile learning: Task technology fit perspective. *Education and Information Technologies*, 29(12), 14553–14589. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12434-9>
- Edu, A. S. (2022). Positioning big data analytics capabilities towards financial service agility. *Aslib Journal of Information Management*, 74(4), 569–588. <https://doi.org/10.1108/AJIM-08-2021-0240>

- El Gibari, S., Gómez, T., & Ruiz, F. (2019). Building composite indicators using multicriteria methods: a review. *Journal of Business Economics*, *89*(1), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s11573-018-0902-z>
- Falloon, G. (2020). From digital literacy to digital competence: the teacher digital competency (TDC) framework. *Educational Technology Research and Development*, *68*(5), 2449–2472. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09767-4>
- Fang, H., & Xueyun, H. (2025). Core-competence educational policies versus the practical realities of rural area-based language teachers: Pathways to better policy implementation. *SAGE Open*, *15*(3). <https://doi.org/10.1177/21582440251360144>
- Foidl, H., Golendukhina, V., Ramler, R., & Felderer, M. (2024). Data pipeline quality: Influencing factors, root causes of data-related issues, and processing problem areas for developers. *Journal of Systems and Software*, *207*, 111855. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2023.111855>
- Harsanti, H. R., Sudibjo, N., Riady, S., & Yu, P. (2025). Exploring Indonesian teachers' intention to use artificial intelligence in schools: the impact of digital leadership, digital readiness, and perceived usefulness. *Cogent Social Sciences*, *11*(1). <https://doi.org/10.1080/23311886.2025.2593596>
- Huda, M. (2024). Between accessibility and adaptability of digital platform: investigating learners' perspectives on digital learning infrastructure. *Higher Education, Skills and Work-Based Learning*, *14*(1), 1–21. <https://doi.org/10.1108/HESWBL-03-2022-0069>
- Hutton, J., & Smith, P. (2000). Non-experimental quantitative methods. In Huw T. O. D, Sandra M. N, & Peter C. S (Eds.), *What works? Evidence-based policy and practice in public services* (pp. 277–290). Policy Press. <https://doi.org/10.51952/9781847425119.ch013>
- Janssen, M., Charalabidis, Y., & Zuiderwijk, A. (2012). Benefits, adoption barriers and myths of open data and open government. *Information Systems Management*, *29*(4), 258–268. <https://doi.org/10.1080/10580530.2012.716740>
- Johnson, B. (2001). Toward a new classification of nonexperimental quantitative research. *Educational Researcher*, *30*(2), 3–13. <https://doi.org/10.3102/0013189X030002003>
- Kaplan, D. (2012). Causal inference in non-experimental educational policy research. In G. Sykes, B. Schneider, & D. N. Plank (Eds.), *Handbook of Education Policy Research* (1st ed., pp. 139–153). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203880968>
- Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah. (2026). *Dataset Prioritas Portal Data Pendidikan*. Pusat Data Dan Teknologi Informasi, Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah. <https://data.kemendikdasmen.go.id>

- Khan, P. A., Johl, S. K., Akhtar, S., Asif, M., Salameh, A. A., & Kanesan, T. (2022). Open innovation of institutional investors and higher education system in creating open approach for SDG-4 quality education: A conceptual review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(1), 49. <https://doi.org/10.3390/joitmc8010049>
- Khatir, N., & Madani, H. (2024). The impact of digital transformation on achieving outstanding performance in educational administration. *International Journal of Educational Management*, 38(7), 1821–1838. <https://doi.org/10.1108/IJEM-06-2023-0289>
- Kitchin, R. (2014). Big Data, new epistemologies and paradigm shifts. *Big Data & Society*, 1(1). <https://doi.org/10.1177/2053951714528481>
- Liu, T., Luo, Y. T., Pang, P. C.-I., & Kan, H. Y. (2025). Exploring the impact of information and communication technology on educational administration: A systematic scoping review. *Education Sciences*, 15(9), 1114. <https://doi.org/10.3390/educsci15091114>
- Lohr, A., Sailer, M., Stadler, M., & Fischer, F. (2024). Digital learning in schools: Which skills do teachers need, and who should bring their own devices? *Teaching and Teacher Education*, 152(August 2023), 104788. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2024.104788>
- Long, J. S., & Ervin, L. H. (2000). Using heteroscedasticity consistent standard errors in the linear regression model. *The American Statistician*, 54(3), 217–224. <https://doi.org/10.1080/00031305.2000.10474549>
- Mackinnon, J. G., Nielsen, M. Ø., & Webb, M. D. (2021). Wild bootstrap and asymptotic inference with multiway clustering. *Journal of Business and Economic Statistics*, 39(2), 505–519. <https://doi.org/10.1080/07350015.2019.1677473>
- Mason, C. H., & Perreault, W. D. (1991). Collinearity, power, and interpretation of multiple regression analysis. *Journal of Marketing Research*, 28(3), 268–280. <https://doi.org/10.1177/002224379102800302>
- Mejía Rodríguez, A. M., & Kyriakides, L. (2022). What matters for student learning outcomes? A systematic review of studies exploring system level factors of educational effectiveness. *Review of Education*, 10(3). <https://doi.org/10.1002/rev3.3374>
- Miller, E. E. N., & Pedersen, S. (2024). Promises and limitations in district digital capacity for education during covid-19. *AERA Open*, 10(1), 1–17. <https://doi.org/10.1177/23328584241303875>
- Mirazchiyski, P. V. (2025). Contemporary gaps in research on digital divide in education: a literature review. *Universal Access in the Information Society*, 24(2), 991–1008. <https://doi.org/10.1007/s10209-024-01166-3>
- Munda, G. (2012). Choosing aggregation rules for composite indicators. *Social Indicators Research*, 109(3), 337–354. <https://doi.org/10.1007/s11205-011-9911-9>

- Muyambi, G. C., & Ramorola, M. Z. (2025). Unveiling educators' readiness to teach through Digital Media (DM): The case of South Africa. *Education and Information Technologies, 30*(10), 13807–13834. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13310-w>
- O'Brien, R. M. (2007). A caution regarding rules of thumb for variance inflation factors. *Quality & Quantity, 41*(5), 673–690. <https://doi.org/10.1007/s11135-006-9018-6>
- Olofsson, A. D., Fransson, G., & Lindberg, J. O. (2020). A study of the use of digital technology and its conditions with a view to understanding what 'adequate digital competence' may mean in a national policy initiative. *Educational Studies, 46*(6), 727–743. <https://doi.org/10.1080/03055698.2019.1651694>
- Öztürk, E. G., Guimarães, P., & Tavares Silva, S. (2024). Building a composite index using the multi-objective approach: An application to the case of human development. *Socio-Economic Planning Sciences, 91*, 101756. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2023.101756>
- Pata, K., Tammets, K., Väljataga, T., Kori, K., Laanpere, M., & Rõbtsenkov, R. (2022). The patterns of school improvement in digitally innovative schools. *Technology, Knowledge and Learning, 27*(3), 823–841. <https://doi.org/10.1007/s10758-021-09514-5>
- Rawal, D. M. (2024). Mapping of school teachers' digital competency in the context of digital infrastructure: a systematic review and empirical study of India. *Journal of Professional Capital and Community, 9*(3), 173–195. <https://doi.org/10.1108/JPC-01-2024-0016>
- Sailer, M., Murböck, J., & Fischer, F. (2021). Digital learning in schools: What does it take beyond digital technology? *Teaching and Teacher Education, 103*, 103346. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2021.103346>
- Sandee, H. (2016). Improving connectivity in Indonesia: The challenges of better infrastructure, better regulations, and better coordination. *Asian Economic Policy Review, 11*(2), 222–238. <https://doi.org/10.1111/aepr.12138>
- Simsa, B., Buts, A., Ropovik, I., & Adamkoviè, M. (2026). Automating data extraction in meta-research: A multi-model benchmark in network psychometrics papers. *Behavior Research Methods, 58*(6), 170. <https://doi.org/10.3758/s13428-026-03052-7>
- Skantz-Åberg, E., Lantz-Andersson, A., Lundin, M., & Williams, P. (2022). Teachers' professional digital competence: An overview of conceptualisations in the literature. *Cogent Education, 9*(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2022.2063224>
- Somekh, B. (2008). Factors affecting teachers' pedagogical adoption of ICT. In J. Voogt & G. Knezek (Eds.), *International Handbook of Information Technology in Primary and Secondary Education* (pp. 449–460). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-73315-9\\_27](https://doi.org/10.1007/978-0-387-73315-9_27)

- Sujarwoto, S., & Tampubolon, G. (2016). Spatial inequality and the Internet divide in Indonesia 2010–2012. *Telecommunications Policy*, 40(7), 602–616. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2015.08.008>
- Suominen, A., & Hajikhani, A. (2021). Research themes in big data analytics for policymaking: Insights from a mixed-methods systematic literature review. *Policy and Internet*, 13(4), 464–484. <https://doi.org/10.1002/poi3.258>
- Teo, T. (2011). Factors influencing teachers' intention to use technology: Model development and test. *Computers & Education*, 57(4), 2432–2440. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.06.008>
- Thompson, C. G., Kim, R. S., Aloe, A. M., & Becker, B. J. (2017). Extracting the variance inflation factor and other multicollinearity diagnostics from typical regression results. *Basic and Applied Social Psychology*, 39(2), 81–90. <https://doi.org/10.1080/01973533.2016.1277529>
- Timotheou, S., Miliou, O., Dimitriadis, Y., Sobrino, S. V., Giannoutsou, N., Cachia, R., Monés, A. M., & Ioannou, A. (2023). Impacts of digital technologies on education and factors influencing schools' digital capacity and transformation: A literature review. *Education and Information Technologies*, 28(6), 6695–6726. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11431-8>
- Undang-Undang Nomor 14 Tahun 2005 Tentang Guru Dan Dosen, Pub. L. 14 (2005). [https://jdih.setneg.go.id\]\(https://jdih.setneg.go.id](https://jdih.setneg.go.id](https://jdih.setneg.go.id)
- Wang, F., Ni, X., Zhang, M., & Zhang, J. (2024). Educational digital inequality: A meta-analysis of the relationship between digital device use and academic performance in adolescents. *Computers & Education*, 213, 105003. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.105003>
- White, H. (1980). A heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimator and a direct test for heteroskedasticity. *Econometrica*, 48(4), 817. <https://doi.org/10.2307/1912934>
- Yang, Y., Wang, J., An, W., Cai, J., & Bai, H. (2025). Advances in prediction methods of wear of rails. *Wear*, 564–565, 205676. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2024.205676>
- Zagan, E., & Danubianu, M. (2023). Data lake architecture for storing and transforming web server access log files. *IEEE Access*, 11(1), 40916–40929. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3270368>

## Lampiran 1. Codebook dan Pipeline Analitik

Tabel Lampiran 1. Codebook Ringkas

Domain	Variabel	Definisi	Transformasi	Output
Infrastruktur	INT	Persentase sekolah dengan akses internet untuk pengajaran	Validasi 0–100; <i>z-score</i>	Komponen DII
Infrastruktur	COMP	Persentase sekolah dengan akses komputer untuk pengajaran	Validasi 0–100; <i>z-score</i>	Komponen DII
Infrastruktur	ELEC	Persentase sekolah dengan akses listrik	Validasi 0–100; <i>z-score</i>	Komponen DII
Infrastruktur	WATER	Persentase sekolah dengan akses air minum layak	Validasi 0–100; <i>z-score</i>	Komponen DII
Guru	QUAL	Persentase guru berkualifikasi minimal S1/D4	Jumlah QUAL dibagi total guru; <i>z-score</i>	Komponen TRI
Guru	CERT	Persentase guru bersertifikat pendidik	Jumlah CERT dibagi total guru; <i>z-score</i>	Komponen TRI
Pemanfaatan	USE	Jumlah sekolah yang memanfaatkan komputer dan internet untuk pembelajaran	Validasi numerik	Pembilang UTIL
Akses	ACCESS	Jumlah sekolah dengan akses internet untuk pengajaran	Validasi numerik	Penyebut UTIL
Model	DII × TRI	Interaksi infrastruktur dan kesiapan guru	Perkalian DII dan TRI	Variabel moderasi

### Pipeline Python Analitik

1. Menginventarisasi *file* XLSX berdasarkan domain indikator.
2. Membaca *file* menggunakan *pandas* dan *openpyxl*.
3. Menstandarkan nama provinsi, jenjang, tahun/rilis, dan nama indikator.
4. Menghapus baris agregat dan baris non-provinsi.
5. Mengubah data ke format panjang: provinsi–jenjang–indikator–nilai.
6. Mengonversi nilai menjadi numerik dan memeriksa batas logis.
7. Menghitung rasio QUAL, CERT, dan UTIL.
8. Melakukan standarisasi *z-score*.
9. Menghitung DII dan TRI.
10. Membentuk dataset akhir 38 provinsi 4 jenjang.
11. Mengestimasi model regresi utama dan model moderasi.
12. Menyimpan tabel hasil dan visualisasi sebagai lampiran analisis.