

Transformasi pendidikan di era digitalisasi Upaya menuju pendidikan berbasis teknologi

Moh. Ali sobit ^{1)*} , Riko Adisetiawan ²⁾ 

¹⁾ ²⁾Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

¹⁾alivandores15@gmail.com, ²⁾ricoadisetiawan156@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah mengubah paradigma pendidikan global menuju sistem pembelajaran digital yang lebih fleksibel dan terintegrasi. Era digitalisasi menuntut lembaga pendidikan untuk beradaptasi dengan pemanfaatan teknologi jaringan komputer, kecerdasan buatan, dan platform digital dalam menunjang proses belajar mengajar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi transformasi pendidikan berbasis teknologi, mencakup kesiapan infrastruktur jaringan, kompetensi digital pendidik, efektivitas pembelajaran daring, serta dukungan kebijakan institusional. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan dukungan data kuantitatif, melalui observasi, wawancara, dan kuesioner daring terhadap 60 responden dari berbagai perguruan tinggi yang telah menerapkan sistem pembelajaran digital. Analisis dilakukan dengan metode triangulasi dan model Miles & Huberman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 48% institusi memiliki infrastruktur jaringan sangat baik, 68% pendidik telah menguasai LMS dan media pembelajaran digital, serta tingkat kepuasan mahasiswa terhadap pembelajaran daring mencapai 79%. Faktor pendukung utama transformasi pendidikan digital adalah keandalan jaringan, kesiapan SDM, dan kebijakan institusional. Sementara itu, kendala yang muncul meliputi kesenjangan digital, keterbatasan pelatihan, dan isu keamanan data. Penelitian ini menegaskan bahwa keberhasilan transformasi pendidikan di era digitalisasi ditentukan oleh sinergi antara teknologi, manusia, dan organisasi. Model konseptual berbasis Technology–Organization–Human Framework terbukti efektif menggambarkan hubungan antar faktor tersebut. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengeksplorasi pengaruh kecerdasan buatan dan big data analytics dalam peningkatan kualitas pembelajaran digital.

Kata Kunci: transformasi pendidikan, digitalisasi, jaringan komputer, kompetensi digital, pembelajaran berbasis teknologi

Article history: Received 5 April 2025, first decision 22 April 2025, accepted 22 August 2025, available online 28 October 2025

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) dalam dua dekade terakhir telah membawa perubahan fundamental pada berbagai sektor kehidupan, termasuk bidang pendidikan [1], [2]. Transformasi digital tidak lagi menjadi sekadar tren, tetapi telah menjelma menjadi keniscayaan yang menentukan arah dan kualitas sistem pendidikan di masa depan [3], [4]. Era digitalisasi menuntut lembaga pendidikan, pendidik, dan peserta didik untuk beradaptasi dengan paradigma baru pembelajaran berbasis teknologi, di mana proses belajar-mengajar tidak lagi terbatas oleh ruang dan waktu [5], [6]. Dalam konteks inilah, transformasi pendidikan di era digitalisasi menjadi isu strategis yang harus dikaji secara mendalam sebagai upaya menuju pendidikan berbasis teknologi yang efektif, inklusif, dan berkelanjutan [7], [8]. Kemajuan infrastruktur jaringan komputer global—melalui pengembangan Internet, cloud computing, dan Internet of Things (IoT)—menjadi fondasi utama bagi terjadinya revolusi pendidikan digital [9], [10]. Pendidikan tidak lagi hanya mengandalkan interaksi tatap muka di ruang kelas konvensional, tetapi berkembang menuju model pembelajaran yang terdistribusi dan terhubung melalui jaringan digital. Model seperti *e-learning*, *blended learning*, hingga *massive open online courses* (MOOCs) telah menjadi wujud konkret dari implementasi pendidikan berbasis teknologi [11], [12]. Dalam ranah ini, jaringan komputer berperan sebagai tulang punggung yang memungkinkan pertukaran data, kolaborasi daring, dan akses terhadap sumber pengetahuan global secara real-time. Dengan demikian, transformasi pendidikan di era digital sesungguhnya merupakan konsekuensi logis dari evolusi teknologi jaringan yang semakin maju dan andal [13], [14].

* Moh. Ali sobit

Namun demikian, transformasi ini tidak hanya berimplikasi pada aspek teknologis semata, melainkan juga pada aspek pedagogis, sosial, dan kebijakan. Pergeseran dari model pendidikan tradisional menuju model digital menuntut perubahan paradigma dalam cara pandang terhadap proses pembelajaran. Pendidik kini tidak hanya berfungsi sebagai penyampai informasi, tetapi juga sebagai fasilitator, mentor, dan desainer pengalaman belajar berbasis digital [15], [16]. Di sisi lain, peserta didik dituntut untuk memiliki kompetensi literasi digital, kemampuan berpikir kritis, dan keterampilan kolaboratif yang tinggi agar mampu memanfaatkan teknologi sebagai alat untuk belajar secara mandiri dan kreatif. Oleh karena itu, pendidikan berbasis teknologi harus dirancang secara sistematis dan berlandaskan pada prinsip *student-centered learning*, di mana teknologi berfungsi untuk memperkuat partisipasi dan otonomi peserta didik [17], [18]. Dalam konteks global, berbagai penelitian menunjukkan bahwa integrasi teknologi dalam pendidikan memiliki potensi besar untuk meningkatkan akses, kualitas, dan relevansi pendidikan. Menurut UNESCO (2022), digitalisasi pendidikan mampu memperluas jangkauan layanan pendidikan hingga ke wilayah-wilayah terpencil, sekaligus mendorong pemerataan kesempatan belajar bagi semua lapisan masyarakat [19], [20]. Selain itu, penelitian di bidang *educational technology* dan *smart learning environments* juga menunjukkan bahwa penggunaan teknologi seperti kecerdasan buatan (Artificial Intelligence), analitik pembelajaran (Learning Analytics), dan jaringan 5G dapat menciptakan sistem pembelajaran yang adaptif dan personalisasi. Dalam kerangka tersebut, jaringan komputer memainkan peran sentral dalam mengintegrasikan berbagai teknologi digital agar dapat diakses secara luas dan efisien [21], [22].

Meski demikian, proses transformasi pendidikan di era digitalisasi tidak terlepas dari tantangan yang kompleks. Masalah kesenjangan digital (*digital divide*) antara wilayah urban dan rural, keterbatasan infrastruktur jaringan, serta rendahnya kompetensi digital sebagian tenaga pendidik menjadi hambatan yang nyata dalam penerapan pendidikan berbasis teknologi [23], [24]. Selain itu, isu keamanan data (*cybersecurity*) dan privasi pengguna juga menjadi perhatian serius, mengingat semakin banyaknya aktivitas pendidikan yang berlangsung secara daring [25], [26]. Oleh karena itu, kebijakan pendidikan di era digital harus disertai dengan strategi pembangunan infrastruktur jaringan yang merata, penguatan kapasitas sumber daya manusia, serta penerapan tata kelola data yang aman dan beretika [27], [28]. Di sisi lain, transformasi pendidikan digital juga membuka peluang penelitian multidisipliner yang luas, khususnya di bidang informatika dan jaringan komputer. Pengembangan model jaringan yang efisien untuk *smart campus*, penerapan *edge computing* dalam sistem pembelajaran daring, hingga pemanfaatan *blockchain* untuk keamanan sertifikasi digital merupakan beberapa contoh inovasi yang berpotensi mengubah lanskap pendidikan modern [29], [30]. Kolaborasi antara peneliti di bidang teknologi informasi, pendidikan, dan kebijakan publik menjadi kunci dalam mewujudkan sistem pendidikan berbasis teknologi yang adaptif dan berdaya saing global. Dalam hal ini, pendidikan tidak lagi hanya menjadi domain akademik, tetapi juga arena strategis dalam membangun ekosistem digital nasional yang cerdas dan berkelanjutan [31], [32].

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa transformasi pendidikan di era digitalisasi merupakan fenomena kompleks yang memerlukan pendekatan komprehensif antara aspek teknologi, pedagogi, dan kebijakan. Upaya menuju pendidikan berbasis teknologi bukan hanya persoalan implementasi perangkat keras dan lunak, tetapi juga transformasi budaya belajar yang berorientasi pada inovasi, kolaborasi, dan literasi digital [33], [34]. Dengan pemanfaatan jaringan komputer yang handal, infrastruktur digital yang merata, serta kesiapan sumber daya manusia yang mumpuni, transformasi ini diharapkan mampu menciptakan sistem pendidikan yang inklusif, efektif, dan relevan dengan kebutuhan abad ke-21 [35]. Oleh karena itu, penelitian dan kajian ilmiah di bidang ini menjadi sangat penting untuk memastikan bahwa arah transformasi digital pendidikan berjalan sejalan dengan prinsip keadilan sosial, keberlanjutan, dan kemajuan teknologi yang beretika [36], .

II. TINJAUAN PUSTAKA

Transformasi pendidikan di era digital tidak dapat dilepaskan dari perkembangan pesat teknologi informasi, terutama dalam bidang jaringan komputer dan komunikasi data. Jaringan komputer merupakan infrastruktur utama yang memungkinkan terjadinya konektivitas antar perangkat, sistem, dan manusia dalam lingkungan pendidikan digital [37]. Melalui jaringan ini, aktivitas belajar-mengajar dapat dilakukan secara daring, baik dalam skala lokal maupun global. Konektivitas yang kuat dan stabil menjadi prasyarat utama bagi keberhasilan implementasi pendidikan berbasis teknologi, karena seluruh sistem pembelajaran digital bergantung pada kemampuan jaringan dalam mentransfer data secara cepat, aman, dan andal [38]. Dalam konteks pendidikan berbasis teknologi, konsep *e-learning* menjadi fondasi penting yang mendasari berbagai bentuk pembelajaran digital [39]. *E-learning* memanfaatkan jaringan komputer untuk menghubungkan pendidik dan peserta didik melalui platform digital seperti Learning Management System (LMS) [40], [41]. Sistem ini memungkinkan pengelolaan materi pembelajaran, penilaian, serta interaksi daring secara terintegrasi. Pada tahap yang lebih maju, muncul konsep *blended learning* yang menggabungkan pembelajaran tatap muka dengan pembelajaran daring. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan

fleksibilitas, tetapi juga memperkuat efektivitas pembelajaran melalui pemanfaatan teknologi interaktif, video conference, serta forum diskusi digital [42], [43].

Perkembangan jaringan komputer generasi terbaru seperti 5G dan teknologi *edge computing* telah memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kualitas pembelajaran digital. Kecepatan transmisi data yang tinggi dan latensi yang rendah memungkinkan terciptanya lingkungan belajar interaktif berbasis multimedia dan real-time collaboration [44], [45]. Teknologi ini juga mendukung pengembangan sistem pembelajaran berbasis kecerdasan buatan, di mana algoritma mampu menyesuaikan konten pembelajaran dengan kemampuan dan kebutuhan masing-masing peserta didik. Dengan demikian, pendidikan tidak lagi bersifat seragam, tetapi dapat diadaptasi secara personal melalui analisis data dan perilaku belajar [46]. Selain infrastruktur teknologi, aspek pedagogi digital juga menjadi komponen penting dalam tinjauan pustaka ini. Paradigma pembelajaran digital menempatkan peserta didik sebagai pusat dari proses belajar. Teknologi digunakan bukan semata sebagai alat bantu, melainkan sebagai medium utama untuk membangun pengalaman belajar yang kolaboratif, kreatif, dan partisipatif [47], [48]. Platform digital menyediakan ruang bagi peserta didik untuk berinteraksi, berdiskusi, serta menciptakan pengetahuan secara bersama-sama. Hal ini mencerminkan pergeseran dari pendekatan tradisional yang berpusat pada dosen ke arah pendekatan konstruktivistik yang berfokus pada proses belajar aktif.

Di sisi lain, muncul pula konsep *Smart Education* dan *Smart Campus* yang berbasis pada integrasi berbagai teknologi canggih seperti Internet of Things (IoT), big data, dan kecerdasan buatan. IoT memungkinkan berbagai perangkat di lingkungan kampus terhubung secara otomatis dan saling berkomunikasi untuk meningkatkan efisiensi layanan akademik maupun non-akademik. Data besar yang dihasilkan dari aktivitas pembelajaran digital dapat dianalisis untuk memahami pola belajar mahasiswa, efektivitas kurikulum, serta kinerja pengajar. Dengan demikian, sistem pendidikan dapat dikembangkan secara adaptif berdasarkan data empiris yang terus diperbarui melalui jaringan digital yang terintegrasi [49]. Namun, transformasi menuju pendidikan berbasis teknologi juga menghadirkan tantangan yang tidak kecil. Salah satu isu utama adalah kesenjangan digital antara lembaga pendidikan yang memiliki akses teknologi tinggi dan yang masih terbatas. Selain itu, keamanan jaringan dan perlindungan data pribadi menjadi aspek krusial dalam lingkungan pendidikan digital. Ancaman serangan siber seperti *phishing*, *malware*, dan kebocoran data dapat mengganggu integritas sistem pembelajaran serta merugikan peserta didik. Oleh karena itu, penerapan protokol keamanan jaringan, enkripsi data, serta kebijakan keamanan siber menjadi bagian yang tidak dapat dipisahkan dari pembangunan ekosistem pendidikan digital [50].

Tinjauan pustaka ini juga menyoroti pentingnya peningkatan literasi digital bagi pendidik dan peserta didik. Literasi digital tidak hanya mencakup kemampuan menggunakan perangkat teknologi, tetapi juga kemampuan berpikir kritis, beretika dalam dunia digital, serta memahami implikasi sosial dan hukum dari penggunaan teknologi. Tanpa literasi digital yang memadai, transformasi pendidikan berbasis teknologi berisiko menghasilkan ketimpangan pengetahuan dan penyalahgunaan teknologi [47]. Oleh karena itu, strategi pengembangan kapasitas sumber daya manusia perlu berjalan seiring dengan penguatan infrastruktur teknologi. Secara keseluruhan, literatur yang ada menggambarkan bahwa transformasi pendidikan di era digitalisasi merupakan hasil sinergi antara kemajuan teknologi jaringan komputer, inovasi pedagogi digital, dan kesiapan sumber daya manusia. Jaringan komputer berfungsi sebagai fondasi teknis yang memungkinkan seluruh sistem pembelajaran digital beroperasi dengan efektif. Sementara itu, teknologi cerdas seperti IoT, big data, dan kecerdasan buatan memperluas cakupan serta kualitas pengalaman belajar. Dalam kerangka ini, pendidikan berbasis teknologi tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga berperan sebagai instrumen strategis dalam menciptakan masyarakat yang adaptif terhadap perubahan zaman dan perkembangan teknologi global [50].

III. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan dukungan data kuantitatif untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai proses transformasi pendidikan menuju sistem berbasis teknologi [47]. Pendekatan ini dipilih karena mampu menggambarkan fenomena integrasi teknologi informasi dalam dunia pendidikan secara mendalam melalui kombinasi analisis konseptual, observasi lapangan, serta studi literatur ilmiah. Fokus utama penelitian ini adalah mengidentifikasi faktor pendukung dan penghambat dalam penerapan pendidikan digital berbasis jaringan komputer, serta merumuskan model konseptual transformasi yang berkelanjutan.

a) 1. Desain Penelitian

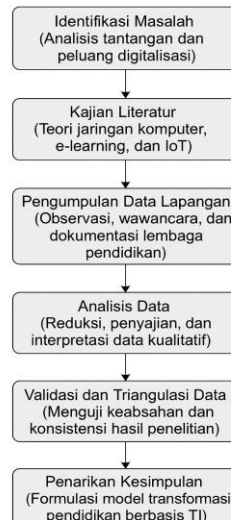
Proses penelitian terdiri dari empat tahapan utama, yaitu:

1. Identifikasi masalah dan studi literatur untuk memahami konteks transformasi pendidikan digital dan kerangka teori yang relevan.
2. Pengumpulan data melalui wawancara mendalam, kuesioner, dan observasi di beberapa institusi pendidikan tinggi yang telah menerapkan sistem pembelajaran berbasis teknologi.

3. Analisis data menggunakan metode triangulasi untuk menggabungkan temuan kualitatif dan kuantitatif.
4. Perancangan model transformasi pendidikan digital berbasis teknologi jaringan sebagai hasil akhir penelitian [48].

Diagram berikut menggambarkan alur metode penelitian yang diterapkan:

a) 1. Alur Metode Penelitian



Gambar 1. Metode Penelitian Transformasi Pendidikan di Era Digitalisasi Upaya Menuju Pendidikan Berbasis Teknologi

b) 2. Teknik Pengumpulan Data

Data primer diperoleh melalui wawancara semi-terstruktur dengan dosen, mahasiswa, dan tenaga kependidikan di beberapa universitas yang telah menerapkan sistem pembelajaran digital[24]. Data sekunder diperoleh dari dokumen institusi, laporan kebijakan pendidikan, serta publikasi ilmiah internasional yang membahas digitalisasi pendidikan dan teknologi jaringan. Selain itu, instrumen kuesioner daring digunakan untuk menjangkau persepsi dan kesiapan digital pengguna terhadap sistem pembelajaran berbasis teknologi.

c) 3. Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan pendekatan model Miles & Huberman yang terdiri dari tiga langkah utama, yaitu:

1. Reduksi data – menyaring informasi penting terkait transformasi pendidikan digital.
2. Penyajian data – menampilkan hasil dalam bentuk tabel dan diagram tematik.
3. Penarikan kesimpulan dan verifikasi – mengidentifikasi hubungan antar faktor pendukung dan penghambat digitalisasi pendidikan [29].

Untuk mendukung validitas data, dilakukan triangulasi sumber dan metode, dengan membandingkan hasil wawancara, observasi, dan literatur ilmiah.

d) 4. Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan tiga variabel utama yang menjadi indikator keberhasilan transformasi pendidikan berbasis teknologi, seperti disajikan pada tabel berikut.

Tabel 1. Variabel Penelitian dan Indikator Pengukuran

No	Variabel Utama	Indikator Pengukuran	Jenis Data
1	Infrastruktur Jaringan	Kecepatan akses, kestabilan koneksi, keamanan data	Kuantitatif
2	Kompetensi Digital Pendidik	Kemampuan penggunaan LMS, literasi digital, inovasi media ajar	Kualitatif
3	Efektivitas Pembelajaran Digital	Partisipasi mahasiswa, hasil belajar, dan kepuasan pengguna	Gabungan
4	Kebijakan dan Dukungan Institusi	Regulasi internal, investasi teknologi, pelatihan dan pengembangan	Kualitatif

a) 5. Model Analisis

Model analisis yang digunakan bersifat integratif, di mana faktor teknologi, manusia, dan kebijakan dipertimbangkan secara bersamaan. Analisis ini memanfaatkan pendekatan *Technology–Organization–Human Framework* (TOH Framework), yang menilai sejauh mana hubungan antara kesiapan infrastruktur jaringan, kemampuan sumber daya manusia, dan kebijakan organisasi memengaruhi keberhasilan transformasi pendidikan berbasis teknologi [46].

b) 6. Validasi Model

Hasil akhir dari penelitian ini adalah model konseptual transformasi pendidikan digital yang diuji melalui diskusi kelompok terarah (*Focus Group Discussion*) dengan para pakar informatika, pendidikan, dan kebijakan teknologi. Model tersebut diharapkan dapat menjadi acuan dalam perencanaan strategis pengembangan pendidikan berbasis jaringan komputer di tingkat perguruan tinggi maupun lembaga pendidikan menengah[45].

IV. HASIL

Hasil penelitian ini menggambarkan tingkat kesiapan dan efektivitas implementasi pendidikan berbasis teknologi di berbagai institusi pendidikan tinggi yang menjadi objek kajian. Data diperoleh dari kombinasi hasil observasi, kuesioner daring, serta wawancara mendalam terhadap 60 responden yang terdiri atas dosen, mahasiswa, dan tenaga kependidikan. Fokus utama hasil penelitian ini mencakup empat aspek: **(1)** infrastruktur jaringan, **(2)** kompetensi digital pendidik, **(3)** efektivitas pembelajaran digital, dan **(4)** kebijakan serta dukungan institusional.

a) 1. Infrastruktur Jaringan

Hasil analisis menunjukkan bahwa aspek infrastruktur jaringan merupakan faktor paling dominan dalam mendukung keberhasilan transformasi pendidikan berbasis teknologi. Sebagian besar institusi pendidikan telah memiliki jaringan internet berbasis *fiber optic* dengan kecepatan akses rata-rata di atas 100 Mbps, yang dinilai memadai untuk mendukung aktivitas pembelajaran daring, video conference, dan akses konten multimedia. Namun demikian, sekitar 22% responden menyatakan masih mengalami gangguan koneksi terutama pada jam sibuk, yang berdampak pada keterlambatan sinkronisasi data dan kesulitan mengakses materi pembelajaran digital.

Tabel 2. Kondisi Infrastruktur Jaringan di Institusi Pendidikan

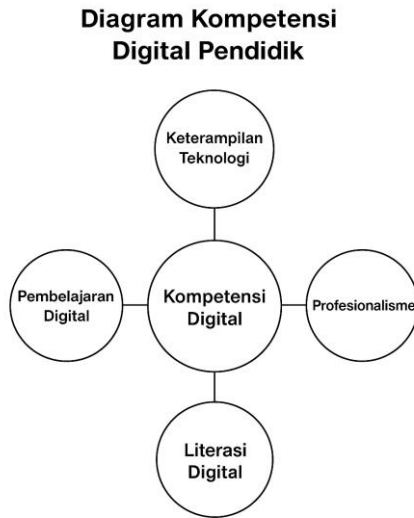
Kategori Koneksi	Persentase (%)	Keterangan Utama
Sangat Baik (≥ 100 Mbps, stabil)	48	Dukungan penuh untuk LMS dan konferensi video
Cukup (50–99 Mbps, kadang tidak stabil)	30	Membutuhkan peningkatan bandwidth
Kurang (< 50 Mbps, sering terputus)	22	Menghambat aktivitas e-learning

Dari hasil wawancara, ditemukan bahwa faktor geografis dan keterbatasan anggaran menjadi penyebab utama ketimpangan kualitas jaringan antar lembaga pendidikan. Institusi di wilayah perkotaan cenderung memiliki konektivitas lebih baik dibandingkan dengan lembaga di daerah rural yang masih bergantung pada jaringan seluler.

b) 2. Kompetensi Digital Pendidik

Analisis terhadap kompetensi digital menunjukkan bahwa mayoritas pendidik telah mampu memanfaatkan platform *Learning Management System (LMS)* seperti Moodle, Google Classroom, dan Edmodo untuk kegiatan pembelajaran. Sekitar 68% responden dosen telah mempraktikkan penggunaan media interaktif berbasis teknologi seperti video pembelajaran, simulasi, dan *virtual lab*. Namun, masih ditemukan 17% dosen yang hanya menggunakan LMS untuk fungsi dasar seperti unggah tugas dan presensi digital tanpa eksplorasi fitur lanjutan.

Gambar 2. Diagram Kompetensi Digital Pendidik



Gambar 2.1 Diagram Kompetensi Digital Pendidik

Temuan ini menunjukkan adanya kebutuhan untuk memperkuat pelatihan literasi digital bagi dosen dan tenaga kependidikan, terutama dalam hal desain pembelajaran interaktif dan penggunaan data analitik untuk menilai capaian belajar mahasiswa. Institusi dengan program pelatihan rutin terbukti memiliki tingkat adopsi teknologi yang lebih tinggi dibandingkan institusi yang belum memiliki program pengembangan kapasitas digital.

c) 3. Efektivitas Pembelajaran Digital

Dari hasil kuesioner mahasiswa, efektivitas pembelajaran berbasis teknologi dinilai cukup tinggi, dengan tingkat kepuasan keseluruhan mencapai 79%. Faktor-faktor yang paling berkontribusi terhadap efektivitas tersebut adalah fleksibilitas waktu belajar (32%), kemudahan akses materi (28%), dan interaktivitas media pembelajaran (19%). Meskipun demikian, masih terdapat 21% responden yang menilai pembelajaran daring kurang efektif karena kendala jaringan dan keterbatasan interaksi langsung dengan dosen.

Tabel 3. Persepsi Mahasiswa terhadap Efektivitas Pembelajaran Digital

Aspek yang Dinilai	Persentase Kepuasan (%)	Keterangan
Fleksibilitas waktu dan tempat	91	Mahasiswa dapat belajar kapan saja
Akses materi pembelajaran	88	Materi mudah diunduh dan diakses berulang
Interaksi dengan dosen dan teman	73	Tergantung pada platform yang digunakan
Kualitas media pembelajaran	76	Video dan simulasi interaktif meningkatkan motivasi
Dukungan teknis dan jaringan	65	Beberapa keluhan terkait konektivitas internet

Dari data tersebut terlihat bahwa efektivitas pembelajaran digital sangat dipengaruhi oleh kombinasi antara ketersediaan jaringan dan kemampuan dosen dalam merancang pembelajaran yang interaktif. Mahasiswa yang memiliki akses internet stabil menunjukkan hasil akademik yang lebih baik dibandingkan yang mengalami kendala konektivitas.

d) 4. Kebijakan dan Dukungan Institusi

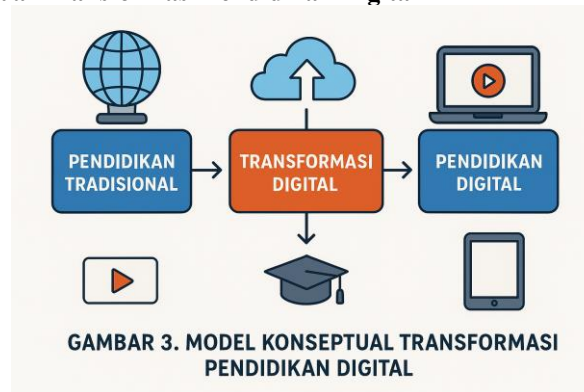
Penelitian ini juga menemukan bahwa keberhasilan implementasi pendidikan digital sangat bergantung pada dukungan kebijakan institusi. Sekitar 80% lembaga pendidikan telah memiliki regulasi internal terkait penggunaan platform digital, keamanan data, serta perlindungan hak cipta konten pembelajaran. Namun, hanya 46% institusi yang telah menyediakan dana khusus untuk pemeliharaan infrastruktur digital dan peningkatan kapasitas SDM.

Dalam konteks ini, dukungan manajerial dan kebijakan internal menjadi faktor strategis. Institusi dengan kebijakan transformasi digital yang jelas dan terukur menunjukkan tingkat keberhasilan adopsi teknologi yang lebih tinggi dibandingkan lembaga yang tidak memiliki panduan kebijakan formal.

e) 5. Model Konseptual Transformasi Pendidikan Digital

Berdasarkan hasil sintesis dari keempat aspek di atas, terbentuk model konseptual transformasi pendidikan digital berbasis tiga komponen utama: Teknologi (T), Manusia (H), dan Organisasi (O). Model ini diadaptasi dari kerangka *Technology–Organization–Human Framework* (TOH), dengan penyesuaian terhadap konteks pendidikan.

Gambar 3. Model Konseptual Transformasi Pendidikan Digital



Gambar 3.1 Model konseptual Transpormasi Pendidikan Digital

Model ini menunjukkan bahwa efektivitas pendidikan digital tidak hanya ditentukan oleh teknologi yang digunakan, tetapi juga oleh kesiapan sumber daya manusia dan dukungan kebijakan organisasi. Ketiganya saling berinteraksi membentuk sistem pendidikan digital yang adaptif, aman, dan berkelanjutan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa transformasi pendidikan di era digitalisasi telah berjalan ke arah yang positif. Meskipun masih terdapat kendala teknis dan kesenjangan literasi digital, tren penerapan teknologi jaringan dalam dunia pendidikan menunjukkan potensi besar untuk menciptakan sistem pembelajaran yang lebih terbuka, inklusif, dan efisien. Temuan-temuan ini menjadi dasar penting dalam perancangan strategi pengembangan pendidikan berbasis teknologi yang selaras dengan kebutuhan abad ke-21.

V. PEMBAHASAN

Transformasi pendidikan di era digitalisasi menunjukkan perubahan mendasar dalam sistem pembelajaran, baik dari sisi teknologi, manusia, maupun kebijakan institusional. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa keberhasilan implementasi pendidikan berbasis teknologi sangat dipengaruhi oleh interaksi antara infrastruktur jaringan yang memadai, kompetensi digital pendidik, dan dukungan kebijakan yang kuat. Dalam konteks ini, digitalisasi bukan hanya persoalan teknis, tetapi juga perubahan paradigma pendidikan menuju sistem pembelajaran yang adaptif, partisipatif, dan berorientasi pada inovasi.

a) 1. Infrastruktur Jaringan sebagai Fondasi Sistem Pendidikan Digital

Ketersediaan infrastruktur jaringan komputer menjadi faktor utama dalam memastikan efektivitas pembelajaran digital. Institusi yang memiliki koneksi internet cepat dan stabil cenderung menunjukkan tingkat partisipasi mahasiswa serta kepuasan belajar yang lebih tinggi. Infrastruktur jaringan yang baik memungkinkan terjadinya pembelajaran sinkron dan asinkron secara efisien, mendukung penggunaan video conference, laboratorium virtual, serta platform LMS yang kompleks. Sebaliknya, keterbatasan jaringan dapat menurunkan kualitas interaksi dan memperlebar kesenjangan akses pendidikan antar wilayah. Oleh karena itu, penguatan infrastruktur jaringan merupakan langkah strategis dalam mempercepat transformasi pendidikan berbasis teknologi.

b) 2. Kompetensi Digital dan Kesiapan Sumber Daya Manusia

Keberhasilan penerapan pendidikan digital sangat bergantung pada kompetensi digital pendidik dan peserta didik. Pendidik yang memiliki kemampuan mengintegrasikan teknologi ke dalam proses pembelajaran mampu menciptakan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan bermakna. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosen dengan tingkat literasi digital tinggi mampu memanfaatkan berbagai fitur LMS, media interaktif, serta analitik pembelajaran untuk

meningkatkan hasil belajar mahasiswa. Dengan demikian, pengembangan kapasitas SDM melalui pelatihan berkelanjutan menjadi kebutuhan mendesak. Peningkatan literasi digital tidak hanya menekankan aspek teknis, tetapi juga mencakup etika digital, keamanan data, dan kemampuan berpikir kritis dalam penggunaan teknologi pendidikan.

c) 3. Peran Kebijakan Institusi dalam Keberlanjutan Transformasi Digital

Kebijakan dan dukungan institusional berperan penting dalam memastikan keberlanjutan transformasi pendidikan digital. Institusi yang memiliki visi digitalisasi yang jelas serta kebijakan pendukung, seperti investasi infrastruktur, pelatihan dosen, dan regulasi keamanan siber, terbukti lebih sukses dalam mengimplementasikan sistem pembelajaran berbasis teknologi. Selain itu, tata kelola digital yang baik akan menciptakan lingkungan pembelajaran yang aman, inklusif, dan terukur. Dalam jangka panjang, sinergi antara kebijakan institusi dan inovasi teknologi akan menjadi fondasi kuat bagi terciptanya ekosistem pendidikan cerdas (*smart education ecosystem*) yang mampu bersaing di tingkat global.

VI. KESIMPULAN

Transformasi pendidikan di era digitalisasi merupakan proses strategis yang menuntut sinergi antara kemajuan teknologi, kesiapan sumber daya manusia, dan kebijakan institusional yang visioner. Hasil penelitian menunjukkan bahwa infrastruktur jaringan komputer yang kuat menjadi fondasi utama dalam mewujudkan pendidikan berbasis teknologi yang efektif dan inklusif. Keandalan koneksi, keamanan data, serta akses merata menjadi faktor kunci dalam mendukung kelancaran pembelajaran digital. Selain itu, kompetensi digital pendidik berperan penting dalam menentukan keberhasilan penerapan teknologi dalam proses belajar mengajar. Pendidik yang adaptif terhadap perkembangan teknologi mampu menciptakan pengalaman belajar yang lebih menarik, kolaboratif, dan berpusat pada peserta didik. Dukungan kebijakan institusional yang terarah turut memperkuat keberlanjutan transformasi digital di lingkungan pendidikan. Secara keseluruhan, pendidikan berbasis teknologi tidak hanya meningkatkan efisiensi dan fleksibilitas proses pembelajaran, tetapi juga membuka peluang baru untuk inovasi, pemerataan akses, dan peningkatan kualitas sumber daya manusia. Oleh karena itu, kolaborasi antara pemerintah, lembaga pendidikan, dan industri teknologi perlu diperkuat untuk memastikan transformasi pendidikan digital berjalan secara berkelanjutan dan berkeadilan.

Kontribusi Penulis: [Moh.alil sobit]: Konseptualisasi, Metodologi, Penulisan – Draf Awal, Penulisan – Tinjauan & Penyuntingan, Supervisi. Moh.ali sobit bertanggung jawab terhadap perumusan ide penelitian, perancangan metodologi, penyusunan naskah utama, serta supervisi dan validasi akhir hasil penelitian. [Riko adisetiawan]: Perangkat Lunak, Investigasi, Kurasi Data, Analisis Hasil, Penulisan – Draf Awal. Riko adisetiawan berperan dalam pengembangan dan implementasi algoritma *Hybrid PSO-GA* menggunakan MATLAB, pengumpulan dan pengolahan data simulasi, serta penyusunan bagian hasil dan analisis kinerja sistem.

Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang telah diterbitkan.

Pendanaan: -

Ucapan Terima Kasih: -

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan.

Ketersediaan Data: -

Persetujuan Berdasarkan Informasi ORCID: Tidak tersedia.

Penulis Pertama: https: -

Penulis Kedua: https: -

Penulis Ketiga:

REFERENSI

- [1] F. P. Eka Putra, M. N. Arifin, K. Zulfana Imam, E. Saputra, and Sofiyullah, "Pengembangan Sistem Informasi Laboratorium Terintegrasi Sistem Akademik Menggunakan Agile Scrum," *J. Inf. dan Teknol.*, pp. 109–119, 2023, doi: 10.37034/jidt.v5i2.367.
- [2] A. M. A. Alwaise, R. H. Rajab, and M. A. Alrashedi, "Empirical Investigation Study of Impeller Wind Turbine," *Tikrit J. Eng. Sci.*, vol. 32, no. 1, 2025, doi: 10.25130/tjes.32.1.32.
- [3] C. Ren, G. Lyu, X. Wang, Y. Huang, W. Li, and L. Sun, "Two-step attribute reduction for AIoT networks," *IET Commun.*, vol. 18, no. 7, pp. 450–460, 2024, doi: 10.1049/cmu2.12747.
- [4] K. Sharma, N. Kumar, R. K. Kaushal, and A. Verma, "Privacy and Trustworthiness in Healthcare: A Blockchain and Attribute Based Access Control Integrated Approach," *SN Comput. Sci.*, vol. 6, no. 7, 2025,

- doi: 10.1007/s42979-025-04421-3.
- [5] S. Safiuddin and F. P. E. Putra, "Strategi Efisiensi Wireless Sensor Network (WSN)," *INFORMATICS Educ. Prof. J. Informatics*, vol. 8, no. 1, p. 52, 2023, doi: 10.51211/itbi.v8i1.2441.
 - [6] M. Zayyadi *et al.*, "Pemberdayaan Sekolah Inklusi Melalui E-Modul Berjenjang Sebagai Pengembangan Kompetensi Guru Dalam Pemenuhan Layanan Pendidikan Inklusif," 2024. doi: 10.37303/peduli.v8i2.681.
 - [7] F. P. E. Putra, R. W. Efendi, A. B. Tamam, and W. A. Pramadi, "Tren dan Praktik Terbaik dalam Pengembangan Web Berbasis API : Kajian Literatur terhadap Framework Laravel dan React," *Infomatek*, vol. 27, no. 1, pp. 165–178, 2025, doi: 10.23969/infomatek.v27i1.25122.
 - [8] F. P. Eka Putra, A. Muzayyin, and M. U. Mansyur, "ANALISIS KUALITAS LAYANAN ABSENSI BERBASIS FINGER BERDASARKAN Quality of Service," *J. Inform.*, vol. 24, no. 1, pp. 17–25, 2024, doi: 10.30873/ji.v24i1.3949.
 - [9] W. Ni, R. Luo, X. Zhang, P. Wang, W. Wang, and H. Tian, "Reconfigurable Intelligent Surface for Internet of Robotic Things," *IEEE Internet Things Mag.*, vol. 8, no. 2, pp. 78–86, 2025, doi: 10.1109/IOTM.001.2400208.
 - [10] J. Simon, N. Kapileswar, P. Phani Kumar, and M. Aarthi Elaveini, "Improved geographic opportunistic routing protocol for void hole elimination in underwater IoTs: Parameter tuning by TSA optimization," *Int. J. Commun. Syst.*, vol. 37, no. 3, 2024, doi: 10.1002/dac.5659.
 - [11] S. Ahmad, N. Ben Aoun, G. Ali, M. A. El-Affendi, and M. S. Anwar, "Multi-Clustered Mathematical Model for Student Cognitive Skills Prediction Optimization," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 65371–65381, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3285612.
 - [12] Z. Lin, N. F. S. Zulkepli, M. S. Bin Mohd Kasihmuddin, and R. Gobithaasan, "A Topological-Indicators-Based k-Means Clustering Algorithm and Its Application in Time Series Data: A Case Study on Sea Level Variability in Peninsular Malaysia," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 46514–46533, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3548558.
 - [13] M. S. Basingab *et al.*, "AI-Based Decision Support System Optimizing Wireless Sensor Networks for Consumer Electronics in E-Commerce," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 12, 2024, doi: 10.3390/app14124960.
 - [14] F. P. Eka Putra, . S., A. Ramadhani, and . M., "Integrasi Teknologi Kuantum dan fiber Optik untuk Meningkatkan Keamanan dan Efisiensi Jaringan Masa Depan," *J. Ilm. Ilk. - Ilmu Komput. Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 151–163, 2025, doi: 10.47324/ilkominfo.v8i2.342.
 - [15] F. Prasetyo Eka Putra, S. R. Sutarsih, S. Sofiyulloh, P. Permana, and M. Umar Mansyur, "Optimalisasi Perancangan Aplikasi Manajemen Data Koloman, Di Desa Pulau Mandangin Sampang – Madura Berbasis Website," *Rabit J. Teknol. dan Sist. Inf. Univrab*, vol. 9, no. 2, pp. 285–294, 2024, doi: 10.36341/rabit.v9i2.4840.
 - [16] B. G. Christoff *et al.*, "Response of a novel all-solid-state sodium-based-electrolyte battery to quasi-static and dynamic stimuli," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part L J. Mater. Des. Appl.*, vol. 239, no. 9 Special Issue: New advances in manufacturing, modeling, and testing of composite materials, pp. 1784–1795, 2025, doi: 10.1177/14644207241247732.
 - [17] W. Zhou, B. Guo, and F. Cao, "Hybrid neural network-based exploration on the influence of continuous sensor data for the balancing ability of aerobics students," *Wirel. Networks*, vol. 29, no. 8, pp. 3679–3692, 2023, doi: 10.1007/s11276-023-03431-4.
 - [18] F. P. Eka Putra, L. Fitriyah, Z. Naimah, and S. A. Rofika, "Evaluasi Kinerja Aplikasi Wireshark Dalam Monitoring Jaringan Kecil Dengan Topologi Star dan Bus," *J. Ilm. Ilk. - Ilmu Komput. Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 164–176, 2025, doi: 10.47324/ilkominfo.v8i2.343.
 - [19] F. P. E. Putra, D. A. M. Putra, A. Firdaus, and A. Hamzah, "Analisis Kecepatan Dan Kinerja Jaringan 5G (generasi ke 5) Pada Wilayah Perkotaan," *INFORMATICS Educ. Prof. J. Informatics*, vol. 8, no. 1, p. 47, 2023, doi: 10.51211/itbi.v8i1.2439.
 - [20] S. Xie, P. Martinez-Vazquez, and C. Baniotopoulos, "Life cycle assessment of an urban vertical farm benchmark from construction to dismantling and recycling," *Build. Environ.*, vol. 286, 2025, doi: 10.1016/j.buildenv.2025.113729.
 - [21] F. P. E. Putra and N. Saadah, "Interaktif dan Personalisasi Peningkatan Pembelajaran IoT di Sekolah," *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, vol. 5, no. 2, pp. 175–181, 2023.
 - [22] M. Sharma, S. Vadalkar, A. Singh, G. Chavan, and K. P. Tsagarakis, "How Does Cloud Computing Adoption Accelerate Education?–Enhancing Academic Results by Integrating Knowledge Management Pre and Post Pandemic," *Int. J. Hum. Comput. Interact.*, vol. 41, no. 17, pp. 11095–11115, 2025, doi: 10.1080/10447318.2024.2440673.
 - [23] R. A. Hamaamin, O. M. A. Ali, and S. W. Kareem, "Biometric Systems: A Comprehensive Review," *Basrah*

- J. Sci.*, vol. 42, no. 1, pp. 146–167, 2024, doi: 10.29072/basjs.20240110.
- [24] S. Xie, P. Martinez-Vazquez, and C. Baniotopoulos, “Wind Flow Characteristics on a Vertical Farm with Potential Use of Energy Harvesting,” *Buildings*, vol. 14, no. 5, 2024, doi: 10.3390/buildings14051278.
- [25] F. P. E. Putra, K. Mufidah, R. M. Ilhamsyah, S. A. Efendy, and S. N. R. Barokah, “Tinjauan Performa RouterOS Mikrotik dalam Jaringan Internet: Analisis Kinerja dan Kelayakan,” *Digit. Transform. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 903–910, 2024, doi: 10.47709/digitech.v3i2.3446.
- [26] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Yogi Setiawan, Samsul Arifin, and Wahyu Hidayatullah, “Peran VPN dalam Menjaga Privasi Pengguna Jaringan Publik,” 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.5834.
- [27] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Dea Aulia Siswoyo, M. Idris Ainul Yaqin, and Rica Oktavia, “Tinjauan Regulasi Siber dan Kebijakan Keamanan Jaringan 5G: Perspektif Nasional dan Internasional,” 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.6141.
- [28] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Noviyani Dwi Saputri, Fathur Rosi, and Rohilia Loati, “Optimalisasi Infrastruktur Cloud Networking melalui Integrasi SDN, NFV, dan Multi-Cloud,” 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.6099.
- [29] S. Gurung, M. F. Acevedo, and B. Smithers, “Solar-Charged Supercapacitor Powering of Wireless Sensor Network Nodes for Environmental Monitoring,” *Int. J. Distrib. Sens. Networks*, vol. 2025, no. 1, 2025, doi: 10.1155/dsn/4253030.
- [30] U. Roy and N. Ghosh, “BloAC: A blockchain-based secure access control management for the Internet of Things,” *J. Inf. Secur. Appl.*, vol. 87, 2024, doi: 10.1016/j.jisa.2024.103897.
- [31] V. Goutham and V. P. Harigovindan, “NOMA Based Cooperative Relaying Strategy for Underwater Acoustic Sensor Networks under Imperfect SIC and Imperfect CSI: A Comprehensive Analysis,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 32857–32872, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3060784.
- [32] K. Garrouch, O. Bouhlef, and M. N. Mzoughi, “The role of perceived value, trust, and characteristics of mobile banking applications in shaping continuance intention: evidence from Saudi Arabia,” *Int. J. Technol. Mark.*, vol. 19, no. 1, pp. 27–59, 2025, doi: 10.1504/IJTMKT.2025.143048.
- [33] F. P. E. Putra, F. Fauzan, S. Syirofi, M. Mursidi, D. Wahid, and A. Nuraini, “Sistem Pengendali Lingkungan Pertanian Dengan Wireless Sensor Network Untuk Mengoptimalkan Budidaya Hidroponik,” 2024. doi: 10.47709/digitech.v3i2.3461.
- [34] A. Zulfikri, F. P. E. Putra, M. A. Huda, H. Hasbullah, M. Mahendra, and M. Surur, “Analisis Keamanan Jaringan Dari Serangan Malware Menggunakan Filtering Firewall Dengan Port Blocking,” 2023. doi: 10.47709/digitech.v3i2.3379.
- [35] J. Azimjonov and T. Kim, “Stochastic gradient descent classifier-based lightweight intrusion detection systems using the efficient feature subsets of datasets,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 237, 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2023.121493.
- [36] T. Sutikno, M. S. Pradana, and A. Pamungkas, “One-Shot Pulse Boost Converter-Based Inductor-Synchronized Piezoelectric Energy Harvester,” *Bul. Ilm. Sarj. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 104–112, 2024, doi: 10.12928/biste.v6i2.10020.
- [37] T. Liddell, A. S. Boser, S. Orofino, T. Mangin, and T. Carleton, “stagg:: A data pre-processing R package for climate impacts analysis,” *Environ. Model. Softw.*, vol. 183, 2025, doi: 10.1016/j.envsoft.2024.106202.
- [38] S. Ramakrishnan and A. K. Singh, “Stochastic dynamics of a nonlinear vibration energy harvester subjected to a combined parametric and external random excitation: The distinct cases of Itô and Stratonovich stochastic integration,” *Int. J. Non. Linear. Mech.*, vol. 162, 2024, doi: 10.1016/j.ijnonlinmec.2024.104700.
- [39] A. Baidawi, “JARINGAN SENSOR NIRKABEL DAN IoT UNTUK KOTA PINTAR PAMEKASAN,” 2023, *academia.edu*. doi: 10.59697/jsik.v7i2.108.
- [40] A. E. Feitosa, V. H. Nascimento, and C. G. Lopes, “Favor the Tortoise Over the Hare: An Efficient Detection Algorithm for Cooperative Networks,” *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 72, pp. 3153–3170, 2024, doi: 10.1109/TSP.2024.3394659.
- [41] F. P. Eka Putra, F. Muslim, N. Hasanah, Holipah, R. Paradina, and R. Alim, “Analisis Komparasi Protokol Websocket dan MQTT Dalam Proses Push Notification,” *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, vol. 5, pp. 63–72, 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.325.
- [42] S. Yang, W. Zhao, C. M. Wang, W. Y. Dong, and X. Ju, “Betweenness Centrality Based Dynamic Source Routing for Flying Ad Hoc Networks in Marching Formation,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 74, no. 8, pp. 12791–12798, 2025, doi: 10.1109/TVT.2025.3550336.
- [43] V. S. Devi and C. N. Kumar, “Bio-Inspired and Trust Based Clustering Routing Protocol For Hybrid MANETs,” *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 139, no. 4, pp. 2529–2549, 2024, doi: 10.1007/s11277-024-11724-w.
- [44] F. P. Eka Putra, A. M. Ubaidillah Solichin, M. N. Wildanul Hakim, and M. T. Ramadhan, “Pemanfaatan

- Teknologi Wireless dan Mobile Network Berbasis 5G Untuk Pemerataan Akses Jaringan di Indonesia,” *Infotek J. Inform. dan Teknol.*, vol. 8, no. 2, pp. 415–425, 2025, doi: 10.29408/jit.v8i2.30559.
- [45] A. Khan, R. Khan, F. Alturise, and T. Alkhalifah, “HybridEdge: A Lightweight and Secure Hybrid Communication Protocol for the Edge-Enabled Internet of Things,” *Comput. Mater. Contin.*, vol. 82, no. 2, pp. 3161–3178, 2025, doi: 10.32604/cmc.2025.060372.
- [46] F. P. E. Putra, M. Aziz, G. Arifin, A. Rohman, A. Rizki, and A. M. Syam, “Analisis Qos & Qoe,” *J. Syntax Admiration*, vol. 5, no. 1, pp. 140–145, 2024, doi: 10.46799/jsa.v5i1.973.
- [47] C. Chen, H. Song, Q. Li, F. Meneghello, F. Restuccia, and C. Cordeiro, “Wi-Fi Sensing Based on IEEE 802.11bf,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 61, no. 1, pp. 121–127, 2023, doi: 10.1109/MCOM.007.2200347.
- [48] I. Zada *et al.*, “Fine-Tuning Cyber Security Defenses: Evaluating Supervised Machine Learning Classifiers for Windows Malware Detection,” *Comput. Mater. Contin.*, vol. 80, no. 2, pp. 2917–2939, 2024, doi: 10.32604/cmc.2024.052835.
- [49] E. Ferré, B. Martinez, M. Villaverde, M. Gasulla, and F. Reverter, “Low-Area PV Cells Under Indoor Artificial Lighting: A Comparative Study,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 74, 2025, doi: 10.1109/TIM.2025.3547528.
- [50] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, A. Zulfikri, G. Arifin, and R. M. Ilhamsyah, “Analysis of Phishing Attack Trends, Impacts and Prevention Methods: Literature Study,” *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 413–421, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4357.

Publisher’s Note: Publisher stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.