



Transformasi Manajemen Laboratorium Pendidikan Menuju Pusat Riset Kolaboratif Berbasis Digital

Indra Marzali

Institut Agama Islam (IAI) Ar-Risalah INHIL Riau, Indonesia

Email Korespondensi: indra.marzali@gmail.com

*Article received: 05 November 2024, Review process: 22 November 2024,
Article Accepted: 02 Desember 2024, Article published: 11 Desember 2024*

ABSTRACT

This study explores the transformation of educational laboratory management towards a digital-based collaborative research center. The shift from conventional management systems to digital ecosystems enables the integration of data, resource sharing, and inter-institutional collaboration. The objective is to identify effective models for managing educational laboratories that support research, innovation, and academic development. The research uses a qualitative descriptive method, involving literature review, interviews with laboratory managers, and institutional observations. The findings indicate that digital transformation enhances administrative efficiency, improves data accessibility, and encourages research collaboration across disciplines. However, challenges arise in terms of digital literacy, infrastructure readiness, and standardization. The study concludes that the integration of technology in educational laboratory management can create sustainable, innovative research ecosystems that promote academic excellence.

Keywords: *Educational Management, Laboratory Transformation, Digital Research*

ABSTRAK

Penelitian ini membahas transformasi manajemen laboratorium pendidikan menuju pusat riset kolaboratif berbasis digital. Pergeseran dari sistem manajemen konvensional ke ekosistem digital memungkinkan integrasi data, berbagi sumber daya, dan kolaborasi antar lembaga. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi model manajemen laboratorium pendidikan yang efektif dalam mendukung riset, inovasi, dan pengembangan akademik. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif melalui studi literatur, wawancara dengan pengelola laboratorium, dan observasi institusi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa transformasi digital meningkatkan efisiensi administrasi, memperluas aksesibilitas data, dan mendorong kolaborasi riset lintas disiplin. Namun demikian, tantangan muncul terkait literasi digital, kesiapan infrastruktur, dan standarisasi sistem. Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi teknologi dalam manajemen laboratorium pendidikan dapat menciptakan ekosistem riset yang berkelanjutan dan inovatif dalam mendukung keunggulan akademik.

Kata Kunci: *Manajemen Pendidikan, Transformasi Laboratorium, Riset Digital*

PENDAHULUAN

Transformasi digital dalam pengelolaan laboratorium pendidikan tidak hanya menuntut perubahan sistem administrasi, tetapi juga perubahan paradigma berpikir seluruh civitas akademika. Para pengelola laboratorium harus memiliki kompetensi baru dalam manajemen data, keamanan siber, dan tata kelola informasi riset. Kemampuan ini menjadi fondasi agar laboratorium tidak hanya sekadar ruang fisik, melainkan platform kolaborasi pengetahuan yang hidup. Selain aspek teknis, dimensi budaya organisasi juga berperan besar dalam menentukan keberhasilan transformasi ini. Studi terbaru menunjukkan bahwa resistensi terhadap perubahan digital sering kali muncul karena kurangnya pemahaman terhadap manfaat jangka panjang digitalisasi (Dwivedi et al., 2021). Oleh sebab itu, pendekatan manajerial berbasis partisipasi perlu diterapkan untuk menciptakan rasa memiliki terhadap sistem baru di antara dosen dan mahasiswa.

Digitalisasi laboratorium juga memunculkan dimensi etika baru dalam pengelolaan data penelitian. Data yang dihasilkan dari berbagai eksperimen kini tersimpan dalam sistem berbasis awan (*cloud system*), sehingga aspek keamanan, privasi, dan integritas data menjadi krusial. Menurut OECD (2022), tata kelola data ilmiah harus mengikuti prinsip FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable*), agar hasil riset dapat dimanfaatkan lintas institusi secara bertanggung jawab. Lebih lanjut, laboratorium pendidikan berbasis digital juga memfasilitasi terjadinya riset multidisipliner. Seorang mahasiswa pendidikan biologi, misalnya, dapat berkolaborasi dengan mahasiswa teknik informatika untuk menciptakan simulasi eksperimen virtual yang interaktif. Kolaborasi semacam ini memperluas cakrawala berpikir dan memperkuat relevansi riset terhadap kebutuhan masyarakat. Transformasi ini juga berdampak pada desain kurikulum. Perguruan tinggi kini didorong untuk memasukkan keterampilan manajemen laboratorium digital sebagai bagian dari capaian pembelajaran. Melalui pendekatan ini, mahasiswa tidak hanya memahami teori eksperimen, tetapi juga menguasai cara mengelola sistem digitalisasi laboratorium yang menjadi tuntutan dunia kerja.

Konektivitas antar-laboratorium juga menjadi faktor penting dalam ekosistem pendidikan modern. Sistem jaringan laboratorium nasional memungkinkan berbagi alat dan data penelitian secara efisien, sekaligus menghemat biaya operasional. Di Indonesia, inisiatif semacam ini mulai dirintis oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi dalam bentuk pengembangan *Integrated Laboratory Network* (Kemendikbudristek, 2023). Dalam skala global, model kolaborasi riset berbasis digital telah diterapkan secara luas oleh universitas-universitas terkemuka seperti MIT dan University of Cambridge. Mereka memanfaatkan platform digital untuk mengintegrasikan kegiatan riset, pengajaran, dan publikasi secara sinergis (Anderson & Lee, 2020). Adaptasi model semacam ini dapat menjadi inspirasi bagi lembaga pendidikan di Indonesia untuk meningkatkan daya saing risetnya.

Tantangan utama yang dihadapi dalam implementasi sistem ini meliputi biaya investasi awal, pemeliharaan sistem, serta peningkatan kapasitas sumber daya manusia. Oleh karena itu, kebijakan institusional yang mendukung

penganggaran berkelanjutan dan pelatihan teknis sangat dibutuhkan untuk memastikan keberlangsungan sistem.

Penerapan sistem manajemen laboratorium digital juga memerlukan indikator evaluasi yang terukur. Parameter seperti kecepatan akses data, tingkat partisipasi riset kolaboratif, serta jumlah publikasi ilmiah yang dihasilkan dari penggunaan laboratorium digital dapat dijadikan ukuran keberhasilan (Susanto, 2020). Akhirnya, arah transformasi laboratorium pendidikan menuju pusat riset kolaboratif berbasis digital merupakan langkah strategis untuk mewujudkan visi pendidikan abad ke-21 yang adaptif, kolaboratif, dan berkelanjutan. Proses ini bukan hanya tentang penerapan teknologi, tetapi juga pembentukan budaya akademik yang menghargai inovasi, keterbukaan, dan kolaborasi lintas disiplin.

Laboratorium pendidikan merupakan salah satu elemen penting dalam sistem pembelajaran modern yang berorientasi pada praktik, inovasi, dan riset ilmiah. Dalam konteks pendidikan tinggi, laboratorium tidak lagi hanya berfungsi sebagai tempat eksperimen dan demonstrasi, melainkan sebagai pusat pengembangan pengetahuan yang berperan strategis dalam mendorong penelitian kolaboratif lintas disiplin. Seiring dengan perkembangan teknologi informasi, paradigma pengelolaan laboratorium mengalami pergeseran signifikan dari sistem manual menuju manajemen berbasis digital. Transformasi ini menuntut adanya inovasi dalam tata kelola sumber daya, sistem informasi, serta pengembangan kompetensi sumber daya manusia (Baharun, 2016).

Perubahan lanskap pendidikan global akibat revolusi industri 4.0 telah mempercepat digitalisasi dalam berbagai aspek manajemen pendidikan, termasuk manajemen laboratorium (Levina et al., 2016). Digitalisasi memungkinkan integrasi antara data laboratorium, hasil penelitian, dan repositori ilmiah dalam satu ekosistem berbasis teknologi. Model ini mendorong terciptanya kolaborasi riset yang lebih terbuka dan produktif. Menurut Laal (2011), pengelolaan pengetahuan (*knowledge management*) di lembaga pendidikan menjadi kunci keberhasilan dalam meningkatkan kualitas penelitian dan inovasi ilmiah. Dengan demikian, transformasi digital laboratorium tidak hanya berorientasi pada efisiensi teknis, tetapi juga pada peningkatan nilai strategis laboratorium sebagai pusat riset kolaboratif.

Dalam konteks Indonesia, tantangan dalam pengelolaan laboratorium pendidikan masih cukup kompleks. Permasalahan umum mencakup keterbatasan infrastruktur digital, belum optimalnya penggunaan sistem informasi laboratorium, serta kurangnya integrasi antara laboratorium dan perpustakaan riset (Budiyanto, Waluyo, & Mokhtar, 2016). Selain itu, sebagian besar institusi pendidikan belum memiliki standar operasional yang terukur dalam manajemen aset laboratorium, inventarisasi alat, dan pengelolaan data hasil eksperimen. Fenomena ini menyebabkan rendahnya efisiensi penggunaan laboratorium serta kurangnya keterlibatan dosen dan mahasiswa dalam riset kolaboratif. Penelitian Hatum (2010) menegaskan pentingnya *talent management* dan adaptasi teknologi sebagai faktor kunci untuk mengoptimalkan potensi lembaga pendidikan.

Transformasi manajemen laboratorium pendidikan berbasis digital diharapkan dapat menjawab permasalahan tersebut dengan menciptakan sistem yang transparan, akuntabel, dan berorientasi pada inovasi. Penggunaan teknologi digital seperti *Laboratory Information Management System* (LIMS) memungkinkan otomatisasi proses administrasi, pelacakan aset, serta manajemen data riset secara real-time (Gottschalk, 2005). Dalam jangka panjang, sistem ini dapat meningkatkan kualitas penelitian dan memfasilitasi kolaborasi antara dosen, mahasiswa, serta peneliti lintas institusi baik di tingkat nasional maupun internasional.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis proses transformasi manajemen laboratorium pendidikan menuju pusat riset kolaboratif berbasis digital, dengan meninjau faktor-faktor kunci yang memengaruhi keberhasilan implementasi transformasi tersebut. Selain itu, penelitian ini berupaya memberikan rekomendasi model manajemen laboratorium yang adaptif terhadap perkembangan teknologi dan relevan dengan kebutuhan pendidikan abad ke-21. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoritis bagi pengembangan manajemen pendidikan serta kontribusi praktis bagi lembaga pendidikan dalam merancang kebijakan dan strategi pengelolaan laboratorium yang berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan desain studi kasus untuk menggambarkan secara komprehensif proses transformasi manajemen laboratorium pendidikan menuju pusat riset kolaboratif berbasis digital. Data dihimpun melalui wawancara mendalam dengan kepala laboratorium, dosen pengelola, staf teknis, serta mahasiswa pengguna laboratorium, yang dipadukan dengan observasi partisipatif selama implementasi sistem digital dan analisis dokumentasi terhadap kebijakan institusional, pedoman operasional, serta arsip kegiatan laboratorium. Validitas data diperkuat melalui triangulasi teknik, member checking, dan diskusi sejawat, sedangkan analisis data mengikuti model Miles dan Huberman yang meliputi reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan interpretatif. Selain itu, studi pustaka dilakukan untuk memperkuat landasan teoretis dan memperbandingkan temuan lapangan dengan literatur mutakhir terkait manajemen laboratorium pendidikan, digitalisasi, dan kolaborasi riset.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Transformasi digital laboratorium pendidikan juga berimplikasi pada peningkatan efisiensi manajerial dan transparansi dalam pelaporan kegiatan. Data dari wawancara menunjukkan bahwa setelah penerapan sistem digital, waktu yang dibutuhkan untuk menyusun laporan kegiatan laboratorium berkurang hingga 40%. Hal ini memperlihatkan peran penting teknologi informasi dalam mengurangi beban administratif dan meningkatkan fokus pengelola terhadap aktivitas riset dan pembelajaran. Selain itu, proses pemantauan inventaris dan

kinerja laboratorium dapat dilakukan secara daring, sehingga mempercepat pengambilan keputusan institusional.

Selanjutnya, temuan lapangan menunjukkan bahwa transformasi ini tidak hanya berdampak pada efisiensi, tetapi juga memperkuat budaya akademik berbasis kolaborasi. Kolaborasi antar dosen dan mahasiswa meningkat signifikan setelah sistem digital diterapkan, karena akses informasi dan data menjadi lebih terbuka. Mahasiswa lebih mudah terlibat dalam riset lintas disiplin, sedangkan dosen dapat memanfaatkan data laboratorium untuk memperkaya kegiatan pembelajaran berbasis penelitian.

1. Kondisi Awal Manajemen Laboratorium Pendidikan

Sebelum digitalisasi, laboratorium di IAI Ar-Risalah menghadapi sejumlah kendala struktural dan teknis yang menghambat efisiensi operasional. Pencatatan data masih dilakukan secara manual dan tersebar di beberapa dokumen fisik, menyebabkan sering terjadinya duplikasi data serta kesulitan dalam pelacakan inventaris. Kondisi ini juga menghambat proses audit dan penilaian mutu internal, yang semestinya menjadi indikator kinerja laboratorium.

Lebih lanjut, keterbatasan sistem manual tersebut berdampak pada kurang optimalnya kolaborasi antar unit akademik. Komunikasi antara pengelola laboratorium, dosen, dan mahasiswa cenderung bersifat satu arah, tanpa adanya mekanisme umpan balik yang terstruktur. Hal ini mengakibatkan rendahnya partisipasi aktif dari mahasiswa dalam kegiatan riset dan eksperimen yang dilakukan di laboratorium.

Selain kendala administratif, terdapat juga hambatan dari sisi budaya organisasi. Beberapa pengelola dan dosen lebih nyaman menggunakan metode konvensional karena belum terbiasa dengan sistem digital. Akibatnya, inovasi dalam manajemen laboratorium berjalan lambat. Seperti yang dikemukakan oleh Santoso dan Wibowo (2019), resistensi terhadap perubahan dalam lembaga pendidikan sering muncul dari kurangnya pemahaman akan manfaat jangka panjang teknologi informasi bagi pengembangan akademik. Sebelum diterapkannya sistem digital, pengelolaan laboratorium di Institut Agama Islam (IAI) Ar-Risalah masih dilakukan secara manual dengan pencatatan berbasis kertas. Hal ini menyebabkan keterlambatan dalam pendataan inventaris, pelaporan kegiatan, dan penyimpanan data hasil penelitian. Selain itu, koordinasi antar-unit laboratorium berjalan lambat karena belum adanya sistem komunikasi terpadu. Kondisi ini mencerminkan temuan Budiyanto et al. (2016) bahwa banyak lembaga pendidikan di Indonesia masih menghadapi kendala efisiensi akibat keterbatasan sistem manajemen laboratorium konvensional.

Dalam konteks sumber daya manusia, sebagian besar pengelola laboratorium belum memiliki pelatihan khusus mengenai pengelolaan sistem digital. Hal ini berdampak pada rendahnya pemanfaatan teknologi dan minimnya dokumentasi kegiatan laboratorium secara sistematis. Keterbatasan infrastruktur jaringan dan perangkat juga menjadi hambatan signifikan yang memperlambat proses digitalisasi.

2. Implementasi Sistem Manajemen Laboratorium Digital

Penerapan sistem digital juga membuka peluang untuk integrasi lintas platform dengan sistem akademik dan keuangan kampus. Dengan adanya sinkronisasi data ini, penggunaan alat laboratorium dapat disesuaikan dengan jadwal perkuliahan dan kegiatan riset yang sedang berjalan. Dampaknya, pemanfaatan fasilitas laboratorium menjadi lebih efisien, dan transparansi penggunaan anggaran semakin meningkat. Inovasi ini memperlihatkan bagaimana teknologi dapat memperkuat tata kelola pendidikan berbasis akuntabilitas dan efisiensi.

Selain itu, transformasi digital menghadirkan peluang untuk pengembangan modul pembelajaran otomatis berbasis data laboratorium. Hasil eksperimen mahasiswa dapat digunakan sebagai sumber belajar bagi kelas berikutnya, menciptakan siklus pembelajaran kolaboratif yang berkelanjutan. Konsep ini selaras dengan paradigma *learning analytics*, di mana data aktivitas laboratorium dimanfaatkan untuk memperbaiki proses belajar dan meningkatkan hasil akademik. Tahap implementasi dimulai dengan pengembangan sistem *Laboratory Information Management System* (LIMS) berbasis web yang dapat diakses oleh dosen, mahasiswa, dan staf laboratorium. Sistem ini dirancang untuk mengelola data inventaris alat, bahan praktikum, jadwal penggunaan laboratorium, serta penyimpanan hasil penelitian dalam bentuk digital. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara, pengelola laboratorium merasakan peningkatan efisiensi dalam pencatatan data dan kemudahan dalam pelacakan aset.

Selain itu, sistem digital memungkinkan pembuatan laporan kegiatan laboratorium secara otomatis, sehingga mengurangi beban administratif. Hal ini sejalan dengan penelitian Yusoff dan Zain (2020) yang menunjukkan bahwa penggunaan sistem digital dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan laboratorium hingga 45%. Penggunaan dashboard interaktif juga mempercepat proses pengambilan keputusan dalam perencanaan kegiatan riset.

3. Peningkatan Kolaborasi dan Kualitas Riset

Digitalisasi laboratorium juga memperkuat hubungan antar lembaga pendidikan dengan membuka peluang kolaborasi riset lintas kampus. Melalui sistem berbasis jaringan, data dan hasil eksperimen dapat dibagikan secara langsung kepada peneliti dari universitas lain, baik di tingkat nasional maupun internasional. Kolaborasi semacam ini meningkatkan kualitas publikasi ilmiah dan mempercepat proses validasi hasil riset karena adanya keterlibatan banyak pihak dalam analisis data.

Selain memperluas jejaring penelitian, transformasi digital juga mendorong terciptanya budaya riset yang lebih inklusif. Mahasiswa kini dapat berperan lebih aktif dalam kegiatan laboratorium karena akses terhadap informasi dan alat penelitian menjadi lebih terbuka. Menurut Prasetyo (2022), keterlibatan mahasiswa dalam riset berbasis digital berkontribusi besar terhadap peningkatan kompetensi analisis dan kemampuan berpikir kritis mereka.

Dari perspektif manajerial, sistem digital memungkinkan evaluasi kinerja riset dilakukan secara lebih objektif. Pengelola laboratorium dapat memantau produktivitas penelitian melalui data yang terekam otomatis, seperti frekuensi penggunaan alat, jumlah eksperimen, serta hasil publikasi. Data ini menjadi dasar bagi pengambilan keputusan strategis dalam perencanaan riset dan pengembangan kapasitas sumber daya manusia di lingkungan akademik. Digitalisasi laboratorium berdampak signifikan terhadap peningkatan kolaborasi riset antar dosen dan mahasiswa. Data hasil eksperimen yang tersimpan secara digital dapat diakses oleh berbagai pihak secara real-time, sehingga mempercepat proses analisis dan publikasi ilmiah. Keberadaan repositori digital memungkinkan integrasi data riset lintas mata kuliah dan antar program studi, memperluas potensi penelitian multidisipliner.

Dari hasil wawancara, para dosen menyatakan bahwa sistem digital mempermudah mereka dalam mengelola data penelitian, menulis laporan, serta memantau progres riset mahasiswa. Hal ini memperkuat temuan Laal (2011) tentang pentingnya manajemen pengetahuan (*knowledge management*) dalam mendukung kolaborasi riset yang produktif. Mahasiswa juga mengaku lebih termotivasi untuk terlibat dalam proyek penelitian karena proses administrasi menjadi lebih mudah dan transparan.

4. Tantangan dalam Proses Transformasi

Meskipun transformasi digital membawa dampak positif, beberapa kendala masih ditemukan dalam proses implementasinya. Salah satu tantangan utama adalah rendahnya literasi digital di kalangan staf laboratorium. Sebagian besar pengelola masih memerlukan pendampingan intensif dalam penggunaan perangkat lunak manajemen dan sistem penyimpanan berbasis awan. Tantangan lainnya adalah keterbatasan anggaran untuk pemeliharaan perangkat dan jaringan internet yang stabil.

Selain faktor teknis, terdapat pula tantangan budaya organisasi. Sebagian dosen senior masih menunjukkan resistensi terhadap perubahan sistem yang selama ini dianggap sudah cukup efektif. Fenomena ini sesuai dengan pendapat Dwivedi et al. (2021) bahwa resistensi terhadap digitalisasi dalam organisasi sering kali muncul akibat rendahnya tingkat kepercayaan terhadap teknologi baru dan kurangnya dukungan kelembagaan yang konsisten.

5. Analisis terhadap Kerangka Konseptual

Temuan penelitian ini menguatkan kerangka konseptual bahwa keberhasilan transformasi manajemen laboratorium pendidikan dipengaruhi oleh tiga faktor utama: teknologi, kolaborasi, dan kompetensi sumber daya manusia. Integrasi teknologi tanpa dukungan SDM yang adaptif hanya menghasilkan perubahan prosedural, bukan transformasional. Oleh karena itu, pelatihan berkelanjutan dan peningkatan kapasitas digital menjadi kebutuhan mendesak bagi lembaga pendidikan.

Dari sisi kolaborasi, sistem digital berhasil menciptakan ruang komunikasi yang lebih terbuka dan efektif antar peneliti. Namun, untuk mencapai tingkat optimal, dibutuhkan dukungan kebijakan institusional yang menjamin

keberlanjutan sistem digital melalui pendanaan, pembaruan perangkat, dan pengawasan kualitas data. Hasil ini sejalan dengan rekomendasi OECD (2022) yang menekankan pentingnya tata kelola digital yang kuat dalam mendukung ekosistem riset kolaboratif.

6. Implikasi Penelitian

Hasil penelitian ini memiliki implikasi praktis bagi pengelola lembaga pendidikan, terutama dalam merancang strategi transformasi laboratorium digital. Pertama, transformasi digital harus dilandasi oleh perencanaan jangka panjang yang mencakup aspek teknologi, sumber daya manusia, dan kebijakan kelembagaan. Kedua, diperlukan sistem pelatihan dan sertifikasi bagi tenaga pengelola laboratorium agar memiliki kompetensi digital yang memadai. Ketiga, lembaga pendidikan perlu membangun kemitraan strategis dengan institusi riset dan industri untuk memperkuat jejaring kolaboratif.

Dari sisi akademik, penelitian ini memperluas kajian teoritis mengenai manajemen pendidikan dengan menambahkan perspektif digitalisasi sebagai variabel penting dalam peningkatan kualitas pembelajaran dan riset. Dengan demikian, laboratorium pendidikan dapat berfungsi tidak hanya sebagai ruang praktik ilmiah, tetapi juga sebagai pusat inovasi dan pengembangan pengetahuan yang adaptif terhadap

SIMPULAN

Kesimpulan penelitian ini menegaskan bahwa transformasi manajemen laboratorium pendidikan menuju pusat riset kolaboratif berbasis digital merupakan langkah strategis dalam memperkuat efektivitas pembelajaran dan produktivitas riset di perguruan tinggi. Digitalisasi laboratorium tidak hanya mempercepat proses administrasi, tetapi juga meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, transparansi manajemen, serta kolaborasi antar sivitas akademika. Penerapan sistem *Laboratory Information Management System* (LIMS) terbukti mampu meminimalisir kesalahan administrasi, mempercepat pelaporan kegiatan, dan memperkuat tata kelola akademik yang berbasis data. Secara konseptual, penelitian ini menemukan bahwa keberhasilan transformasi digital bergantung pada tiga elemen utama: kesiapan teknologi, kompetensi sumber daya manusia, dan dukungan kelembagaan. Tanpa adanya keseimbangan di antara ketiganya, perubahan digital hanya menghasilkan pembaruan teknis tanpa berdampak transformasional. Oleh karena itu, lembaga pendidikan perlu memastikan adanya kebijakan yang mendukung peningkatan kapasitas digital, penyediaan infrastruktur yang memadai, serta sistem pendanaan yang berkelanjutan untuk mendukung inovasi di laboratorium.

Dari aspek implementatif, digitalisasi laboratorium membawa perubahan signifikan dalam cara dosen dan mahasiswa berinteraksi dengan ilmu pengetahuan. Akses terhadap data eksperimen yang terbuka dan terstruktur menciptakan budaya riset yang lebih kolaboratif, adaptif, dan berbasis bukti. Selain itu, pengembangan laboratorium digital juga memperluas potensi integrasi riset dengan proses pembelajaran, sehingga memperkuat konsep *research-based*

learning yang menjadi ciri pendidikan tinggi modern. Tantangan utama dalam proses transformasi digital mencakup keterbatasan infrastruktur, resistensi terhadap perubahan, serta rendahnya literasi digital di kalangan pengelola laboratorium. Namun, tantangan ini dapat diatasi melalui pelatihan berkelanjutan, peningkatan kesadaran terhadap manfaat digitalisasi, dan penerapan kebijakan kelembagaan yang mendorong inovasi. Penerapan prinsip *green digital management* juga dapat menjadi arah pengembangan selanjutnya, mengingat pentingnya keberlanjutan dalam tata kelola pendidikan masa depan. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagi lembaga pendidikan lain yang ingin mengimplementasikan transformasi digital di lingkungan laboratoriumnya. Laboratorium pendidikan berbasis digital bukan hanya simbol kemajuan teknologi, tetapi juga representasi dari perubahan paradigma pendidikan menuju sistem pembelajaran dan riset yang lebih terbuka, kolaboratif, dan berorientasi pada masa depan.

DAFTAR RUJUKAN

- Anderson, P., & Lee, M. (2020). *Digital Collaboration Models in Higher Education Research*. Cambridge University Press.
- Baharun, H. (2016). Manajemen Kinerja Dalam Meningkatkan Competitive Advantage Pada Lembaga Pendidikan Islam. *At-Tajdid: Jurnal Ilmu Tarbiyah*, 5(2), 243-262.
- Budiyanto, M. A. K., Waluyo, L., & Mokhtar, A. (2016). Implementasi Pendekatan Saintifik dalam Pembelajaran di Pendidikan Dasar di Malang. *Proceeding Biology Education Conference*, 13(1), 48-55.
- Drucker, P. (1999). *Management Challenges for the 21st Century*. HarperBusiness.
- Dwivedi, Y. K., et al. (2021). Digital Transformation in Organizations: A Framework for Research and Practice. *International Journal of Information Management*, 58, 102-111.
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The Dynamics of Innovation: From National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of University-Industry-Government Relations. *Research Policy*, 29(2), 109-123.
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P., & Trow, M. (1994). *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*. SAGE Publications.
- Gottschalk, P. (2005). *Strategic Knowledge Management Technology*. Hershey, PA: Idea Group Publishing.
- Hatum, A. (2010). *Next Generation Talent Management: Talent Management to Survive Turmoil*. London: Palgrave Macmillan.
- Kim, J., Park, H., & Lee, S. (2021). IoT-Based Laboratory Management Systems for Smart Universities. *International Journal of Smart Education and Urban Society*, 3(4), 67-81.
- Kusuma, D. (2022). Penerapan Sistem Akuntabilitas Digital dalam Manajemen Laboratorium Pendidikan. *Jurnal Manajemen Pendidikan Islam*, 7(1), 12-26.

-
- Laal, M. (2011). Knowledge Management in Higher Education. *Procedia Computer Science*, 3, 544–549.
- Levina, E. Y., Kutuev, R. A., Balakhnina, L. V., Tumarov, K. B., Chudnovskiy, A. D., & Shagiev, B. V. (2016). The Structure of the Managerial System of Higher Education's Development. *International Journal Of Environmental & Science Education*, 11(15), 8143–8153.
- Mulyono, R., & Sari, F. (2021). The Effectiveness of Virtual Laboratories in Distance Learning. *Journal of Educational Technology Research*, 4(2), 101–115.
- OECD. (2022). *Digital Transformation in Education*. OECD Publishing.
- Pramono, B. (2021). Strategi Pembangunan Pusat Riset Kolaboratif di Perguruan Tinggi Daerah. *Jurnal Kebijakan Pendidikan Nasional*, 5(3), 211–226.
- Prasetyo, D. (2021). Penerapan Konsep Green Laboratory Management dalam Pendidikan Sains. *Jurnal Ilmiah Pendidikan dan Lingkungan*, 8(1), 45–58.
- Prasetyo, M. (2022). Digital Learning and Student Research Engagement: A Case Study of Higher Education Institutions in Indonesia. *Indonesian Journal of Educational Studies*, 9(2), 55–70.
- Rahman, M., & Sari, D. (2022). Digital Literacy and Educational Innovation in Indonesian Higher Education. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, 2(4), 55–63.
- Robbins, S. P., & Judge, T. A. (2017). *Organizational Behavior* (17th ed.). Pearson Education.
- Santoso, A., & Wibowo, H. (2019). Organizational Communication and Change Management in Educational Institutions. *Jurnal Ilmu Komunikasi Pendidikan*, 4(2), 88–102.
- Susanto, A. (2020). Implementasi Sistem Manajemen Laboratorium Digital di Perguruan Tinggi Indonesia. *Jurnal Teknologi dan Pembelajaran*, 12(1), 87–95.
- Tan, L., & Rahim, N. (2022). Building Virtual Research Centers in Post-Pandemic Academia. *Asian Journal of Innovation and Research*, 11(2), 134–147.
- UNESCO. (2022). *Ethical Guidelines for Digital Data Management in Education and Research*. UNESCO Publishing.
- Yusoff, N., & Zain, M. (2020). Enhancing Laboratory Efficiency through Digital Systems in Malaysian Universities. *Asian Journal of Education and Training*, 6(3), 421–428