



## LABORATORIUM SEBAGAI LAYANAN TERPADU DI UNIVERSITAS – INTEGRASI EFISIENSI PELAYANAN DAN MANAJEMEN SUMBER DAYA

Ahmad Yazid<sup>1)</sup>,

<sup>1)</sup> “Teknologi Informasi, Fak. Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi

Email: [ahmadyazidozi@pancabudi.ac.id](mailto:ahmadyazidozi@pancabudi.ac.id)

### Abstract

*The increasing need for more accessible and scheduled laboratory services at universities has prompted the need for innovative solutions. This paper proposes the concept of a laboratory as an integrated service that unifies existing laboratory services and management through a single digital system. By utilizing technological resources to improve access, scheduling, and administration. This approach can improve the efficiency, effectiveness, and quality of services from laboratories at universities. The results of this study show how great the possibilities and opportunities are open to university laboratories to improve existing management, services, and performance systems.*

**Keywords:** *Laboratory as an integrated service, laboratory, university laboratory, digital transformation, laboratory management*

### Abstrak

Meningkatnya kebutuhan pelayanan laboratorium yang lebih mudah diakses dan terjadwal di universitas mendorong dibutuhkan solusi inovasi. Tulisan ini mengajukan konsep laboratorium sebagai layanan terpadu yang menyatukan pelayanan dan pengelolaan laboratorium yang ada melalui satu sistem digital. Dengan memanfaatkan sumber daya teknologi untuk meningkatkan akses, penjadwalan, dan pengurusan administrasi. Pendekatan ini dapat meningkatkan efisiensi, efektivitas, dan kualitas layanan dari laboratorium di universitas. Hasil dari penelitian ini menunjukkan betapa besarnya kemungkinan dan peluang yang terbuka kepada laboratorium universitas untuk meningkatkan pengelolaan, pelayanan, dan sistem kinerja yang ada.

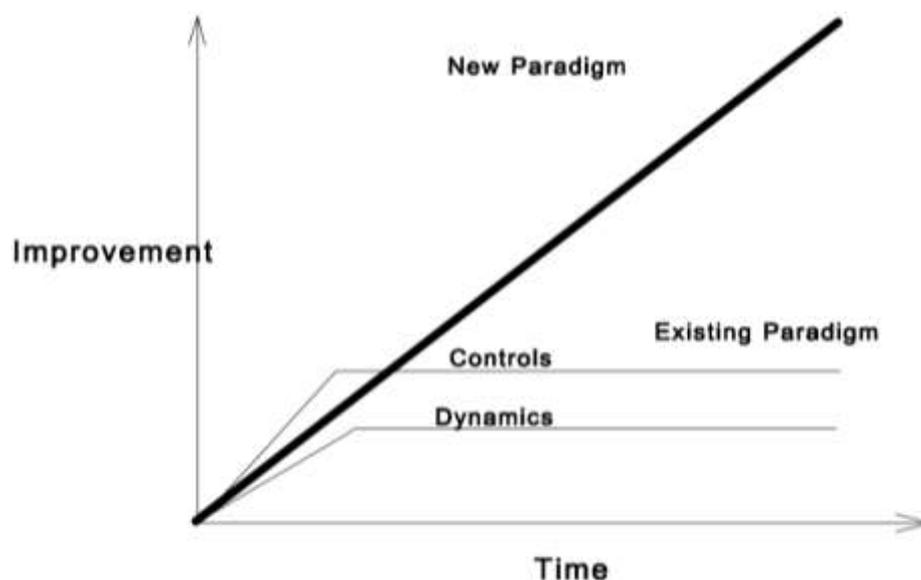
**Keywords:** Laboratorium sebagai layanan terpadu, laboratorium, laboratorium universitas, transformasi digital, pengelolaan laboratorium

### 1. Pendahuluan

Pembelajaran pada pendidikan tinggi memiliki ciri berupa pembelajaran yang beragam, penuh interaksi dan pembahasan yang bebas dan terikat. Pencapaian penyelesaian pendidikan pada tingkatan pendidikan tinggi dan lanjutan dibuktikan melalui penerapan ilmu yang dipelajari baik secara simulasi ataupun secara nyata dalam bentuk tugas akhir seperti jurnal, skripsi, thesis,

ataupun disertasi. Salah satu fasilitas dasar yang harus dimiliki oleh sebuah universitas untuk memenuhi pencapaian pembelajaran tersebut adalah melalui adanya ketersediaan laboratorium di universitas. Laboratorium di universitas tentunya memiliki peranan yang sangat penting dalam mendukung penelitian, eksperimentasi, dan pembelajaran. Melalui pemanfaatan laboratorium, pengetahuan dan kemampuan pelajar terbukti dapat meningkat drastis melalui realisasi ilmu pengetahuan teoritis. Kegiatan pembelajaran praktikal ini bahkan dapat dikatakan merupakan inti dari pembelajaran di bidang ilmu sains dan sains terapan (Munawar et al., 2018). Tentunya dengan adanya sebuah laboratorium yang mumpuni belum tentu menjamin fasilitas layanan tersebut sudah terpakai dan dimanfaatkan secara efektif. Agar pemanfaatan laboratorium di universitas, tentunya harus didukung dengan sistem pelayanan yang baik dan dapat membuka akses seluruh fasilitas laboratorium kepada para civitas akademik dan pelajar. Namun, pengelolaan pelayanan laboratorium pada universitas masih cenderung menggunakan cara yang tradisional dan kerap menghadapi permasalahan alokasi sumber daya, penggunaan alat, dan aksesibilitas yang kurang efektif dan efisien.

Transformasi digital yang dimulai pada revolusi industri 4.0 memiliki dampak meningkatnya perkembangan bidang teknologi digital secara cepat (Madsen dan Møller, 2017) dan dengan revolusi masyarakat digital 5.0 penetrasi pemanfaatan teknologi digital makin luas dan mendalam di mana seluruh aspek kehidupan manusia sudah dipengaruhi oleh teknologi digital (Sulistyo et al., 2024). Saat ini, terdapat banyak pengembangan proyek dan penelitian besar pada konsep smart universitas yang dilakukan secara internasional dan salah satu pendekatan menuju smart universitas tersebut adalah melalui pengembangan smart laboratorium (Pham et al., 2020). Konsep smart universitas ataupun smart laboratorium pada dasarnya adalah pemanfaatan teknologi dan transformasi digital dalam setiap aktivitas yang ada di dalamnya.



Gambar 1.1. Paradigma integrasi laboratorium (Mahajan et al., 1997)

Konsep laboratorium sebagai layanan terpadu di universitas dapat diajukan sebagai salah satu langkah dan solusi inovatif transformasi digital untuk menghadapi permasalahan pengelolaan laboratorium. Laboratorium sebagai layanan terpadu di universitas ini bertujuan untuk mencapai sentralisasi manajemen laboratorium melalui integrasi pelayanan berbasis teknologi digital yang dapat memungkinkan koordinasi yang lebih baik antara pengguna, data, dan fasilitas. Sistem layanan laboratorium terpadu yang diajukan bertujuan tidak hanya untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan laboratorium namun juga mendukung pemenuhan kebutuhan laboratorium di lingkungan akademik terkini. Penelitian ini berfokus pada analisis dan model laboratorium sebagai layanan terpadu di lingkungan universitas.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dan studi kasus untuk mengevaluasi model sistem laboratorium sebagai layanan terpadu:

- a. **Pendekatan Kualitatif:** Wawancara kepada pengelola laboratorium, laboran, pegawai administrasi laboratorium, dan pengguna untuk mendapatkan informasi mengenai pengalaman dan kendala yang ditemui.
- b. **Analisis Studi Kasus:** model yang diajukan dikembangkan melalui analisis mutu pelayanan di salah satu universitas swasta untuk mendapatkan gambaran sistem yang dapat diadopsi oleh universitas.

Universitas tempat studi kasus dilakukan memiliki 17 program studi dan setiap program studinya memiliki laboratorium agar pelajar dapat melakukan praktikum dan latihan. Laboratorium yang ada dapat dibagi menjadi dua jenis berdasarkan aktifitasnya, yang pertama berupa studio studi kasus di mana pelajar melakukan riset pada satu kasus secara spesifik, dan yang kedua berupa laboratorium tradisional tempat melakukan simulasi dan penelitian. Studio studi kasus berada di bawah pengelolaan masing – masing program studi namun inventaris dan peralatan tetap masuk di bawah pengelolaan unit laboratorium. Sedangkan laboratorium tradisional yang berbentuk seperti laboratorium penelitian dan simulasi dikelola oleh unit laboratorium secara langsung. Kondisi laboratorium tersebut yang akan dikembangkan menjadi dasar model sistem layanan terpadu laboratorium.

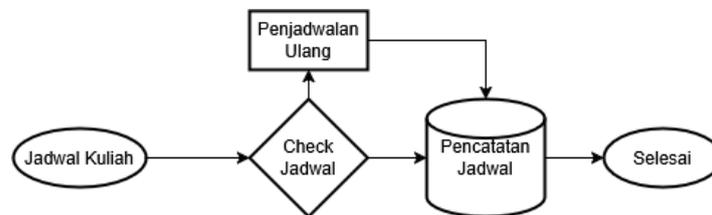
Perancangan sistem layanan terpadu ini dikembangkan berdasarkan kebutuhan pengguna utamanya yaitu pelajar (Azer et al., 2013) dan secara teknisnya harus memperhatikan layout, seleksi peralatan, *middleware*, instalasi teknis (Espinilla et al., 2018), dan fitur yang dibutuhkan dalam implementasi model tersebut.

### 2.1. Analisis Sistem Terkini: Pelajar dan Manajemen

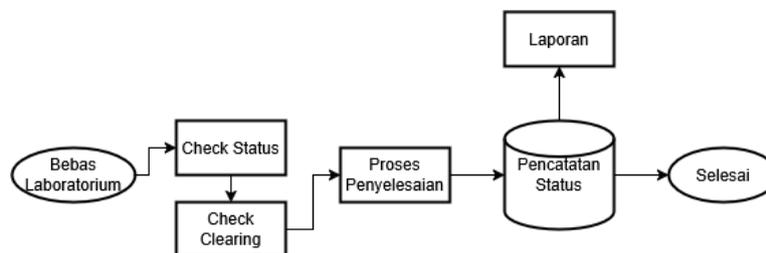
Tugas utama dari laboratorium di universitas tentunya adalah untuk pelaksanaan praktikum, riset, dan penelitian dengan tujuan melakukan implementasi ilmu pengetahuan teoretis yang diterima dan mencari pengetahuan baru. Pelaksanaan kegiatan tersebut merupakan inti dari aktivitas pembelajaran dan pengajaran di universitas agar pelajar dapat mengasah pengetahuan yang telah dipelajari dan mengembangkannya.

Sistem yang berjalan mengelola setiap laboratorium secara terpisah, dimana studio studi kasus dikelola oleh prgram studi masing – masing dan setiap laboratorium tradisional dikelola unit laboratorium masing – masing. Terdapat 3 pengelompokan laboratorium tradisional yaitu: Laboratorium Peternakan dan Pertanian, Laboratorium Komputer, dan Laboratorium Arsitektur dan Elektro.

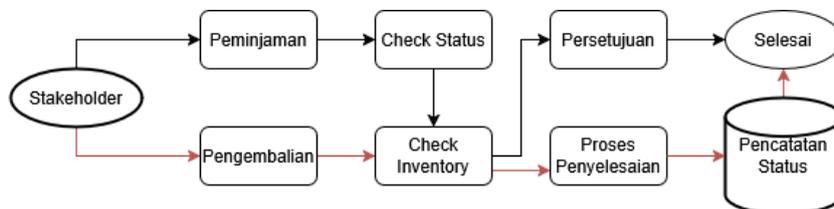
Setiap kegiatan di setiap studio studi kasus berada di bawah manajemen program studi yang terkait sehingga penjadwalan, peminjaman alat, dan aktifitas studi kasus tidak berada di bawah pengawasan unit laboratorium. Sedangkan terdapat 3 unit pengelolaan laboratorium yang saling terpisah dan berdiri sendiri baik dari pengelolaan sumber daya, biaya, peralatan, petugas, penjadwalan, peminjaman, pelaksanaan aktivitas, dan administrasi.



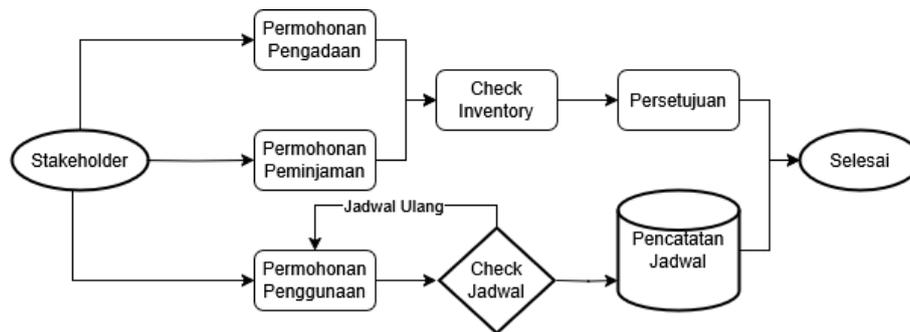
Gambar 3.1. Penjadwalan kuliah praktikum



Gambar 3.2. Administrasi surat bebas laboratorium



Gambar 1. Layanan peminjaman dan pengembalian alat



**Gambar 2.** Permohonan layanan pengadaan, peminjaman, dan penggunaan

Kebutuhan pelajar sebagai target pengguna utama dari laboratorium universitas yang saat ini di layani adalah: (1) praktikum perkuliahan, (2) administrasi akademik, (3) peminjaman-pengembalian alat, (4) penelitian dan riset, dan (5) pembayaran. Terdapat layanan yang dibutuhkan oleh pelajar namun belum di layani oleh laboratorium saat ini seperti: (1) pembelian bahan, (2) perbaikan alat, dan (3) perawatan alat.

## 2.2. Rancangan Sistem Layanan Terpadu

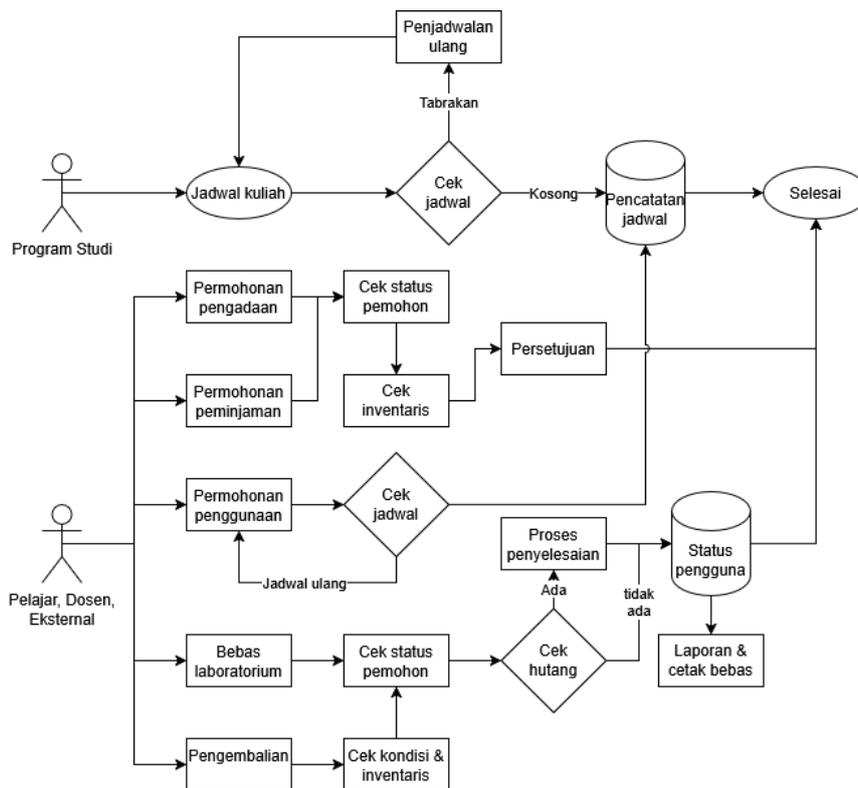
Rancangan yang diajukan mengkombinasikan pelayanan dari seluruh laboratorium tradisional yang saat ini dikelola secara terpisah menjadi satu kesatuan pelayanan. Untuk laboratorium studi kasus belum dimasukkan kedalam rancangan dikarenakan kegiatannya yang dapat saja berada di luar dari lingkungan universitas. Pertimbangan yang dilakukan dalam perancangan sistem layanan terpadu yang diajukan adalah:

1. Layout dari laboratorium  
Pengelolaan laboratorium yang terpisah membuat setiap laboratorium memiliki dan membutuhkan kantor administrasinya masing – masing. Rancangan yang diajukan hanya membutuhkan satu kantor sebagai pusat administrasi keseluruhan laboratorium tradisional yang ada. Ruang yang sebelumnya berfungsi sebagai kantor dapat di alih fungsikan menjadi pelebaran laboratorium ataupun ruangan lainnya.
2. Seleksi peralatan dan bahan  
Dikarenakan dasar dari penelitian setiap bidang pendidikan yang berbeda, tentunya terdapat peralatan dan bahan yang bersifat spesifik, namun tidak menutup kemungkinan besar adanya bahan dan alat yang dapat digunakan secara lintas bidang ilmu dan lintas laboratorium. Pada perancangan ini, setiap alat dan bahan diklasifikasikan untuk lebih memudahkan pengelolaan, perawatannya dan juga lokasi penyimpanannya.
3. *Middleware*  
*Middleware* dalam hal ini adalah alat teknis yang digunakan agar laboratorium yang terpisah ini dapat menjadi satu layanan yang terpadu. Penentuan dan pengembangan ini dilakukan bersama dengan unit pusat data dan sistem informasi universitas agar dapat berintegrasi dengan sistem yang berjalan.
4. Instalasi teknis

Pelaksanaan perpaduan laboratorium ini tentunya akan membutuhkan perubahan dan penyusunan yang tidak sebentar, baik dari segi pelaksanaan administrasi sampai dengan tata letak dan tata ruang yang berada di unit laboratorium.

5. Fitur

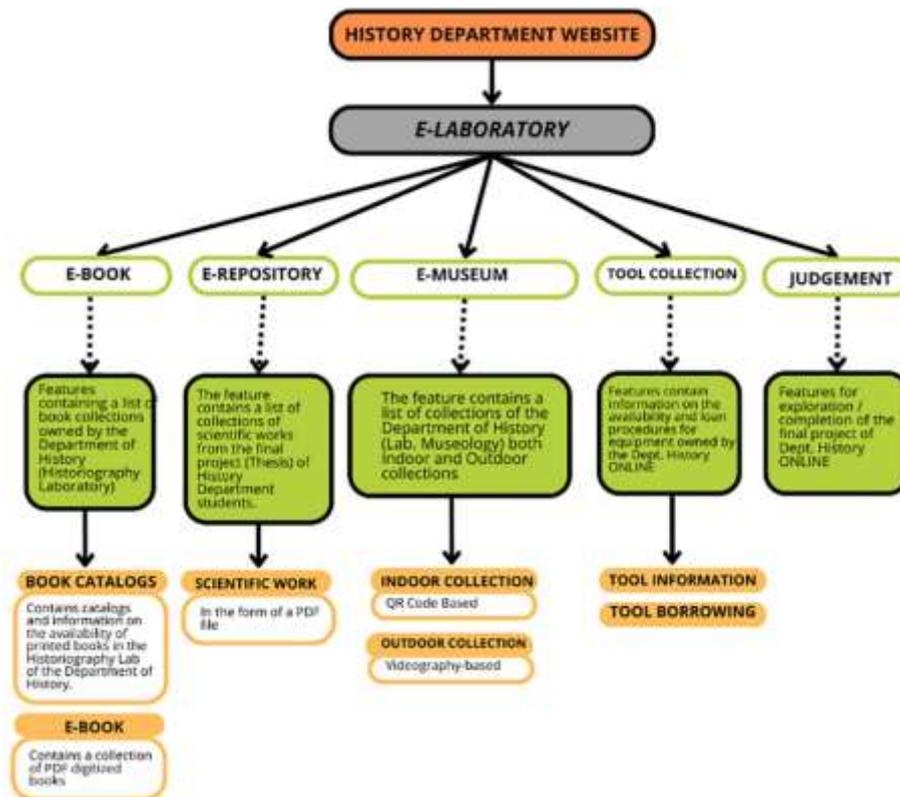
Sistem yang dikembangkan sudah dapat memasukkan kemungkinan layanan terpadu yang sebelumnya tidak ada menjadi ada seperti pembelian bahan dan alat, perbaikan alat, dan perawatan alat. Perbaikan alat dan perawatan alat dapat menjadi langkah bagi laboratorium untuk menjadi salah satu unit *income generating* untuk universitas.



Gambar 3. Rancangan use case alur layanan

2.3. Pelayanan Laboratorium

Universitas sebagai institusi pendidikan lanjut pada dasarnya merupakan sebuah layanan yang diberikan kepada para *stakeholder*-nya seperti masyarakat, pemerintahan, dunia usaha dan dunia industri. Layanan laboratorium merupakan salah satu komponen utama dari program pendidikan sarjana di universitas yang membutuhkan sumber daya dan investasi dengan jumlah yang besar (Tobarra et al., 2016). Oleh karena itu, universitas harus dapat mempersiapkan sumber daya pembelajaran yang tidak sedikit dari ketersediaan sumber daya manusia, bahan material pembelajaran, kesesuaian lingkungan, ketersediaan dan kondisi alat, sampai dengan seluruh aktivitas yang mendukungnya (Sulistyo et al., 2024).

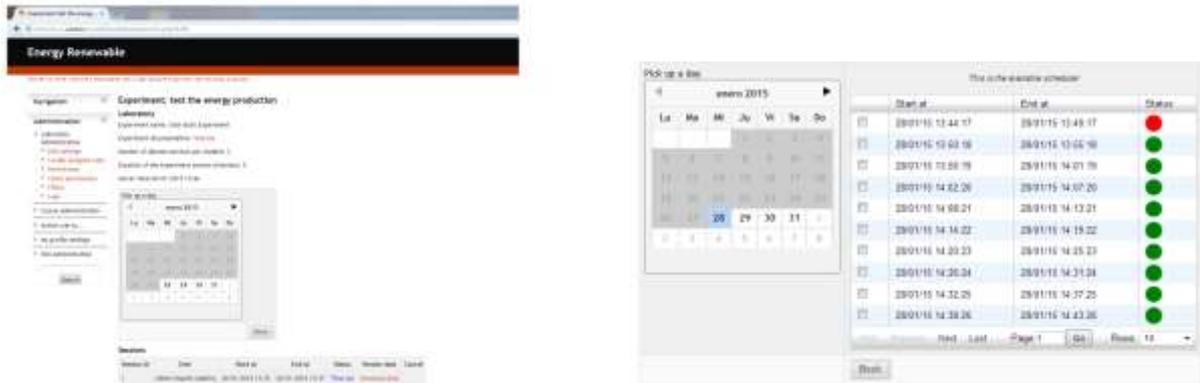


**Gambar 4.** *Digital Laboratorium Sejarah (Sulistyo et al., 2024)*

Oleh karena itu, pengelolaan laboratorium berperan sangat penting dalam berjalannya aktivitas akademik khususnya pada pembelajaran, praktikum, dan penelitian (Adekunle et al., 2024). Pelayanan laboratorium selalu diharapkan dapat membeikan pengalaman pemanfaatan yang baik secara maksimal dari ruang lingkup dan sumber daya yang ada (Helal et al., 2017). Pemanfaatan dan pelayanan laboratorium tidak terlepas dari kemampuan universitas dalam mengelolanya. Tidak sedikit ditemui laboratorium penelitian yang masih menggunakan catatan tulisan tangan, alat instrumen yang terisolir, pengukuran analog, dan masih kurangnya interaksi dengan sistem (Knight et al., 2020). Dengan memanfaatkan transformasi digital, pelayanan laboratorium yang sebelumnya terpisah akan dapat lebih mudah diakses dan efisien.

#### 2.4. Integrasi Pelayanan Laboratorium dengan Pembelajaran

Konsep daripada Laboratorium terpadu sebagai layanan terpadu berkembang untuk menjawab kebutuhan dan permintaan penggunaan fasilitas laboratorium yang terus meningkat. Integrasi solusi digital untuk pengelolaan laboratorium dapat meningkatkan ketersediaan sumber daya dan mengurangi permasalahan perawatan. Pengelolaan laboratorium dengan data yang terpusat juga dapat meningkatkan transparansi dan efisiensi dari proses pelayanan laboratorium. Integrasi laboratorium dengan pembelajaran setidaknya harus mencakup otentikasi pengguna, otorisasi pengguna, dan pelayanan penjadwalan (Tobarra et al., 2016) dengan fokus utama pada penjadwalan dan ketersediaan fasilitas laboratorium untuk para penggunanya.



Gambar 5. Digital laboratorium tampilan penjadwalan (Tobarra et al., 2016)

Tidak dapat dimungkiri, walaupun sudah didukung dengan perkembangan teknologi yang terus meningkat, banyak universitas yang masih menerapkan sistem pengelolaan laboratorium secara terpisah. Hal ini dapat menyebabkan adanya ketimpangan data pengelolaan dan kurang efisiennya pemanfaatan sumber daya. Dengan adanya laboratorium sebagai layanan terpadu diharapkan dapat menjawab permasalahan pengelolaan melalui kombinasi teknologi dan laboratorium tradisional menjadikan terbentuknya sebuah sistem manajemen yang holistik. Dari sudut pandang manajerial, layanan terpadu ini dapat juga memberikan data real agar dapat meningkatkan pengambilan keputusan dan pengelolaan (Adekunle et al., 2024). Layanan teknologi informasi dan komunikasi telah digunakan oleh berbagai bidang ilmu melalui jaringan teknologi (Munawar et al., 2018).

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Penelitian Terkait

Penelitian Smart laboratorium produksi AAU (Madsen dan Møller, 2017) mengungkap konsep teknologi digital pada laboratorium untuk industri negara Denmark. Pada proyek ini laboratorium bertujuan dapat berfungsi sebagai "pabrik kecil industri 4.0" dan dikembangkan dengan berkolaborasi dengan perusahaan industri. Proyek tersebut menggunakan beberapa teknologi digital diantaranya adalah IoT (*Internet of Things*), sistem manufaktur modular, *virtual commissioning*, dan *cyber security*. Proyek ini menemukan bahwa smart laboratorium (1) memungkinkan proyek dan penelitian multi-disiplin ilmu dengan lebih dari 50 pelajar dan peneliti dari berbagai bidang ilmu, (2) menarik perhatian dunia industri dengan lebih dari 150 perusahaan industri yang telah menunjukkan minat dalam rentang waktu 6 bulan, (3) masih butuh pengembangan transformasi digital yang lebih mendalam, dan (4) membuka peluang perkembangan ilmu pengetahuan baru.

Penelitian penggabungan LMS (*learning management system*) dan laboratorium sebagai layanan (Tobarra et al., 2016) berfokus pada penggabungan laboratorium tradisional ke ranah kelas virtual di LMS berbasis Moodle. Pada proyek ini, pelajar dapat melihat dokumen penelitian yang telah dilaksanakan di laboratorium sehingga dapat diakses dari mana saja dan kapan saja melalui LMS tersebut.

Proyek Talk2Lab (Knight et al., 2020) memanfaatkan IoT untuk membentuk smart laboratorium yang penuh dengan kombinasi sensor, Raspberry Pis, kamera, dan beberapa metode interaksi untuk berkomunikasi dengan laboratorium. Studi kasus ini memanfaatkan teknologi digital untuk dapat mengoperasikan peralatan di laboratorium secara jarak jauh menggunakan internet.

Penelitian sistem manajemen laboratorium berbasis website (Adekunle et al., 2024) berfokus mengembangkan sistem digital laboratorium yang mengelola proses reservasi laboratorium, penelusuran, dan manajemen inventaris. Penelitian tersebut menyatakan bahwa smart laboratorium dengan konsep tersebut merupakan salah satu solusi efisien untuk mengelola laboratorium.

### 3.2. Hasil Penelitian

Model sistem laboratorium sebagai layanan terpadu meningkatkan beberapa hal dalam pengelolaan laboratorium di universitas:

- **Peningkatan pengelolaan sumber daya:** penjadwalan terpusat dan penelusuran kondisi peralatan dan bahan secara langsung dapat menurunkan *downtime* dan *lagtime* dikarenakan kemudahan akses informasi.
- **Peningkatan aksesibilitas laboratorium:** terbukanya akses terhadap penjadwalan dan informasi laboratorium melalui sistem digital dapat meningkatkan kemudahan pelayanan dan penjadwalan.
- **Peningkatan kepuasan pelayanan:** peningkatan kepuasan pelayanan didapatkan dari pencatatan yang tersistem sehingga mengurangi kemungkinan *double-book*, bentrok jadwal, dan pengurusan administrasi. Hal ini dikarenakan meningkatnya aksesibilitas dan efisiensi dalam mengakses data pengelolaan laboratorium.
- **Efisiensi Biaya:** biaya perawatan dapat menjadi lebih hemat dikarenakan berkurangnya pelaksanaan pekerjaan yang sejenis dan berulang melalui pengelolaan yang lebih proaktif dan tertata baik. Laboratorium yang terpadu juga dapat mengurangi pembelian bahan yang berlebih.
- **Pengembangan Layanan:** integrasi antara teknologi dan laboratorium yang terpadu dapat membuka peluang laboratorium menjadi komponen *income generating* bagi universitas.

### 3.3. Pembahasan

Model sistem pelayanan yang diajukan dapat dikatakan menjawab permasalahan yang sering ditemui pengelolaan laboratorium sebelumnya yang lebih konvensional. Pelayanan terpadu memungkinkan pengelolaan yang lebih fleksibel dan efisien dari elemen yang bersifat laboratorium fisik dan dengan tujuan meningkatkan ketersediaan dan memastikan kualitas pelayanan yang baik (Celdran et al., 2020). Pengembangan yang memiliki fokus utama pada perencanaan sistem terpadu ini meningkatkan kemudahan akses, penjadwalan, pengelolaan ketersediaan bahan dan alat, pemantauan kondisi dan status alat serta bahan, dan pelaksanaan pengurusan administrasi.



Dengan meningkatnya efisiensi pengelolaan dan terbukanya akses laboratorium, penawaran penggunaan laboratorium dapat diberikan secara meluas dan tidak hanya untuk civitas akademik internal. Pengembangan tersebut membuka peluang pemanfaatan laboratorium yang ada oleh industri, peneliti independen, dan masyarakat umum (Knight et al., 2020; Sulistyio et al., 2024). Pengembangan layanan melalui pemanfaatan teknologi baru, seperti pengelolaan laboratorium terpadu, dapat menjadi sebuah komponen yang menumbuhkan manfaat sebagai bisnis model baru (Madsen dan Møller, 2017).

Sistem digital yang terpadu meningkatkan koordinasi antara para civitas akademik melalui kemudahan akses kepada sumber daya fisik dan digital yang dimiliki unit laboratorium. Pemantauan informasi secara langsung juga meningkatkan perawatan dan perencanaan pengelolaan.

Kendala yang dapat ditemui dalam implementasi model layanan terpadu ini adalah integrasi sistem kerja dan adaptasi penggunaannya. Petugas administrasi yang ada butuh untuk melakukan pembelajaran dan peningkatan kemampuan terkait dengan alur kerja dan pelayanan yang sudah terpadu. Peningkatan kerja sama antar petugas laboratorium juga menjadi sebuah aspek yang penting untuk diperhatikan setelah akses pelayanan menjadi terpadu. Keamanan data juga menjadi sebuah kekhawatiran dikarenakan terpusatnya data dan lokasi data yang berada di dunia digital.

Untuk meningkatkan suksesnya implementasi sistem layanan terpadu, universitas harus dapat melakukan perubahan strategi pengelolaan, termasuk diantaranya perubahan standar operasional, perubahan panduan kualitas mutu layanan, perubahan panduan pelaksanaan, pertimbangan keterlibatan *stakeholder* dan pelayanan pada pihak eksternal, pelatihan kepegawaian yang ada, dan mekanisme komunikasi melalui sistem yang dibangun. Tujuan dari pengembangan model ini adalah pengaruh jangka menengahnya kepada kualitas layanan yang dapat diberikan oleh unit laboratorium universitas.

#### 4. Kesimpulan

Salah satu tahap awal menuju *Smart Laboratory* adalah menyambungkan aspek akses laboratorium dengan ketersediaan peralatan, dan informasi penjadwalan berupa laboratorium yang terpadu (Knight et al., 2020) yang dapat diakses melalui peralatan elektronik atau *smartphone* (Sulistiyowati et al., 2020) sehingga dapat meningkatkan pemakaian laboratorium dan efisiensi aktivitas pembelajaran (Lei et al., 2013). Model pelayanan laboratorium terpadu merupakan pendekatan transformasi digital pada pengelolaan laboratorium di universitas. Melalui pemanfaatan peralatan digital, pengelolaan dan pengoperasian laboratorium menjadi lebih efisien, lebih terbuka aksesnya, dan lebih hemat dalam pengelolaan sumber daya yang ada dan terbatas.

Sistem yang dirancang diharapkan dapat berfungsi sebagai platform yang mencerminkan kemungkinan integrasi aktivitas penelitian dengan teknologi modern (Madsen dan Møller, 2017) yang sesuai dengan era revolusi masyarakat digital 5.0 dengan tujuan utama berupa meningkatkan efisiensi pengambilan keputusan dan pengelolaan laboratorium (Adekunle et al., 2024).

## Daftar Pustaka

- Adekunle, A.A., Abolore, B.L., Mutiu, G., dan Olalekan, A.M. (2024). *Design and Implementation of a Web-Based Laboratory Management System for Efficient Resource Tracking*. Asian Journal of Electrical Sciences, Vol 13(2), 19-24.
- Azer, S.A., Hasanto, R., Al-Nassar, S., Somily, A., dan Al-Saadi, M.M. (2013). *Introducing integrated laboratory classes in a PBL curriculum: impact on student's learning and satisfaction*. BMC Biomedical Education, 13-71.
- Celdrán, A.H., Clemente, F.J.G., Sanz, J., Torre, L., Salzmann, C., dan Gillet, D. (2020). *Self-Organized Laboratories for Smart Campus*. Ieee Transactions On Learning Technologies Vol 13(2), 404-416.
- Espinilla, M., Martínez, L., Medina, J., dan Nugent, C. (2018). *The Experience of Developing the UJAmI Smart Lab*, Vol 6, 34631-34642.
- Helal, A.N., Benltoufa, S., Jaafar, F., Maraoui, M., Said, L., Zili, M., Hedfi, H., Labidi, M., Bouzidi, A., Jrad, B.B., dan Salah, H.B. (2017). *From Smart Campus to Smart City: Monastir Living Lab*. ICET.
- Knight, N.J., Kanza, S., Cruickshank, O., Brocklesby, W.S., dan Frey, J.G. (2020). *Talk2Lab: The Smart Lab of the Future*. IEEE Internet Of Things Journal, Vol 7(9), 8631-8640.
- Lei, C., Liang, H., dan Man, K. (2013). *Building a Smart Laboratory Environment at a University via a Cyber-Physical System*. IEEE International Conference on Teaching, Assesment, and Learning for Engineering, 243-246.
- Madsen, O., dan Møller, C. (2017). *The AAU Smart Production Laboratory for teaching and research in emerging digital manufacturing technologies*. Procedia Manufacturing, 9, 106-112.
- Mahajan, A., McDonald, D., dan Walworth, M. (1997). *"An Innovative Integrated Learning Laboratory Environment"*. Mechanical Engineering Faculty Research. 461. [https://ideaexchange.uakron.edu/mechanical\\_ideas/461](https://ideaexchange.uakron.edu/mechanical_ideas/461)
- Munawar, S., Toor, S.K., Aslam, M., dan Hamid, M. (2018). *Move to Smart Learning Environment: Exploratory Research of Challenges in Computer Laboratory and Design Intelligent Virtual Laboratory for eLearning Technology*. EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 14(5), 1645-1662.
- Pham, T.V., Nguyen, A.T.T., Ngo, T.D., Le, D.H., Le, K.C.V., Nguyen, T.H.N., Le, H.Q. (2020). *Proposed Smart University Model as a Sustainable Living Lab for University Digital Transformation*. International Conference on Green Technology and Sustainable Development, 5<sup>th</sup>, 472-479.
- Siminov, R., Mollova, S., dan Dolchinkov, R. (2020). *Integrated Laboratory Complex*. MIPRO 2020, 1567-1572.



- Sulistiyowati, I., Sugiarto, A.R., dan Jamaaluddin, J. (2019). *Smart Laboratory Based On Internet Of Things In The Faculty Of Electrical Engineering, University Of Muhammadiyah Sidoarjo*. IOP Conference Series: Material Science and Engineering. 874.
- Sulistyo, W.D., Wahyudi, D.Y., Muhamad, A.B., Putra, C.K., dan Hartono. (2024). *The Effectiveness of Laboratory Digitalization for 21<sup>st</sup> Century Learning*. International Journal of Interactive Mobile Technologies Vol 18(4). 48-64.
- Tobarra, L., Ros, S., Pastor, R., Hernández, R., Castro, M., Al-Zoubi, A., Dmour, M., Robles-Gómez, A., Caminero, A.C., dan Cano, J. (2016). *An Integrated Example Of Laboratories As A Service Into Learning Management Systems*. International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation 13,103-108.