

Model Konseptual Sistem Pendukung Evaluasi Pembelajaran Berbasis Proyek dengan Integrasi *Educational Data Mining* dan *Learning Analytics*

Delvito Rahim Derivansyah¹, Mentari Ayu Alysia Sudrajat², Joe Lian Min³, Jonner Hutahaean⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Komputer dan Informatika, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : delvito.rahim.tif.421@polban.ac.id

E-mail : mentari.ayu.tif.421@polban.ac.id

E-mail : joelianmin@polban.ac.id

E-mail : jonnerh@jtk.polban.ac.id

ABSTRAK

Evaluasi pembelajaran berbasis proyek (PjBL) pada pendidikan tinggi menghadapi tantangan objektivitas dan transparansi, terutama akibat kurangnya pemanfaatan data terstruktur untuk memantau progres individu mahasiswa. Penelitian ini merancang model konseptual sistem pendukung evaluasi pembelajaran yang mengintegrasikan *Educational Data Mining* (EDM) dan *Learning Analytics* (LA). Model konseptual ini difokuskan untuk memfasilitasi pemantauan komprehensif, deteksi dini mahasiswa berisiko, serta evaluasi objektif dan transparan. Penelitian ini menggunakan *Design Science Research* (DSR) dan menghasilkan dua artefak: (1) model konseptual sistem evaluasi yang mengintegrasikan setiap fase PjBL; dan (2) aplikasi *Proof of Concept* (PoC) berbasis analisis data logbook mahasiswa sebagai demonstrasi dan validasi fungsional terbatas dari model konseptual. Teknik analitik yang diterapkan meliputi *text mining*, analisis similaritas, klasifikasi, klusterisasi, analisis pola sekuensial, *association rule mining*, analisis sentimen, prediksi hasil proyek, *feature engineering*, *relationship mining*, analisis berbasis waktu, analisis deskriptif, dan deteksi anomali. Evaluasi artefak dilakukan secara sistematis berdasarkan tujuh pedoman DSR. Aplikasi PoC dievaluasi fungsionalitasnya menggunakan data logbook riil untuk menilai ketepatan implementasi teknik analitik. Hasil evaluasi menunjukkan model konseptual dan aplikasi PoC meningkatkan objektivitas evaluasi, memfasilitasi pemantauan dan intervensi dini, serta menyediakan dasar analitik untuk pengambilan keputusan.

Kata Kunci

PjBL, EDM, LA, Model Konseptual, DSR

Project-based learning (PjBL) in higher education faces challenges regarding evaluation objectivity and transparency, primarily due to the insufficient utilization of structured data to monitor individual student progress. This research designs a conceptual model of a learning evaluation support system that integrates Educational Data Mining (EDM) and Learning Analytics (LA). This conceptual model focuses on facilitating comprehensive monitoring, early detection of at-risk students, and objective and transparent evaluation. This study employs Design Science Research (DSR) and yields two artifacts: (1) a conceptual evaluation system model that integrates each phase of PjBL; and (2) a Proof of Concept (PoC) application based on student logbook data analysis, serving as a demonstration and limited functional validation of the conceptual model. Applied analytical techniques include text mining, similarity analysis, classification, clustering, sequential pattern analysis, association rule mining, sentiment analysis, project outcome prediction, feature engineering, relationship mining, time-based analysis, descriptive analysis, and anomaly detection. Artifact evaluation is conducted systematically based on seven DSR guidelines. The PoC application's functionality is evaluated using real logbook data to assess the accuracy of the analytical technique implementation. Evaluation results indicate that the conceptual model and the PoC application enhance evaluation objectivity, facilitate early monitoring and intervention, and provide an analytical foundation for decision-making.

Keywords

PjBL, EDM, LA, Conceptual Model, DSR

1. PENDAHULUAN

Pembelajaran berbasis proyek (PjBL) merupakan pendekatan menjanjikan di pendidikan tinggi untuk membekali mahasiswa dengan berbagai keahlian esensial (1). Namun, evaluasi PjBL menghadapi tantangan signifikan terkait pemantauan proses belajar dan penilaian produk akhir yang menjadi ciri utamanya (1). Banyak studi juga melaporkan kelemahan metodologis, dimana instrumen pengukuran seringkali tidak memiliki deskripsi validitas dan reliabilitas yang jelas, sehingga menghasilkan evaluasi yang kurang objektif (1). Oleh karena itu, diperlukan perbaikan pada

instrumen pengukuran dan analisis data untuk memahami pembelajaran mahasiswa secara lebih komprehensif.

Meskipun telah banyak dikembangkan, sistem pendukung evaluasi untuk Pembelajaran Berbasis Proyek (PjBL) masih menunjukkan keterbatasan mendasar. Banyak di antaranya cenderung mengadopsi pendekatan tunggal, baik itu *Learning Analytics* (LA) untuk visualisasi data agregat tim maupun *Educational Data Mining* (EDM) untuk analisis pola, tanpa integrasi yang sinergis (2,3). Akibatnya, pemantauan

kontribusi individual mahasiswa seringkali terabaikan, bahkan pada sistem yang sudah memadukan dasbor interaktif sekalipun (4,5). Di sisi lain, model terintegrasi yang sudah ada pun seringkali tidak dirancang spesifik untuk PjBL, melainkan untuk konteks pedagogis lain seperti *Inquiry-Based Learning* (6). Keterbatasan ini menggarisbawahi adanya kebutuhan akan sebuah model konseptual yang lebih fleksibel dan mampu beradaptasi dengan karakteristik unik setiap implementasi PjBL, mulai dari ekosistem data, tahapan proyek, hingga rubrik evaluasi yang spesifik sesuai konteks kurikulum institusi.

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Design Science Research* (DSR) dan menghasilkan dua artefak utama: (1) model konseptual sistem evaluasi yang mencakup seluruh fase siklus PjBL (*Pre-course*, Inialisasi, Perencanaan, Pelaksanaan, dan Penilaian serta Evaluasi); dan (2) aplikasi *Proof of Concept* (PoC) berbasis analisis data *logbook* mahasiswa sebagai sarana demonstrasi dan validasi fungsional terbatas pada model konseptual.

2. LANDASAN TEORI

2.1 *Design Science Research*

Design Science Research (DSR) adalah kegiatan penelitian yang menerapkan prinsip-prinsip dari paradigma ilmu desain. DSR berfokus pada pengembangan dan evaluasi artefak inovatif untuk menyelesaikan masalah nyata (7). Tujuan DSR tidak hanya untuk menciptakan solusi atau sistem baru, tetapi juga untuk berkontribusi pada basis pengetahuan desain (*design knowledge*) melalui model, metode, atau instansiasi baru yang dapat digeneralisasi bagi komunitas riset dan praktik (7,8). Dengan demikian, pendekatan ini bertujuan mengembangkan pemahaman tentang bagaimana dan mengapa suatu artefak dapat memberikan manfaat dalam konteks tertentu (7).

Artefak dalam DSR dapat berupa model, metode, konstruksi, atau instansiasi sistem. Dalam konteks penelitian ini, DSR digunakan untuk merancang dan menguji model sistem evaluasi berbasis data dalam PjBL. Untuk itu, tahapan pelaksanaan penelitian ini mengadopsi model proses *Design Science Research Methodology* (DSRM) yang diusulkan oleh Peffers et al. (9). Model ini terdiri dari enam tahapan, yaitu: identifikasi masalah, penentuan tujuan solusi, desain dan pengembangan, demonstrasi, evaluasi, serta komunikasi. Pada penelitian ini, DSR dilakukan untuk menghasilkan model konseptual dan aplikasi PoC sebagai solusi yang dapat divalidasi secara fungsional.

2.2 *Project-based Learning*

Project-Based Learning (PjBL) adalah pendekatan pembelajaran berpusat pada mahasiswa yang menempatkan mereka sebagai pelaku aktif dalam menyelesaikan proyek yang relevan dengan permasalahan nyata (10). Bertumpu pada prinsip konstruktivisme (10), pendekatan ini bertujuan mengembangkan berbagai keterampilan abad ke-21, seperti kolaborasi, komunikasi, dan proses reflektif yang berkelanjutan, sekaligus mendorong kemandirian belajar mahasiswa dengan menempatkan dosen sebagai fasilitator

(10–13). PjBL terbukti efektif meningkatkan berbagai kemampuan penting seperti pemahaman konseptual yang mendalam, kemampuan berpikir kritis, keterampilan komunikasi, kerja tim, manajemen waktu, dan kesiapan untuk menghadapi tantangan di dunia kerja (11–13).

2.3 Evaluasi Pembelajaran berbasis Data

Evaluasi merupakan aspek kunci dalam Project-based Learning (PjBL), di mana fokusnya tidak hanya pada luaran akhir, melainkan pada pemantauan keterlibatan dan perkembangan individu selama seluruh tahapan proyek (1). Untuk menjawab kebutuhan ini, pendekatan evaluasi berbasis data bertumpu pada prinsip pengambilan keputusan pedagogis berdasarkan informasi yang terdokumentasi dan dapat ditelusuri. Dalam praktiknya, pendekatan ini dapat memanfaatkan berbagai instrumen seperti logbook digital, jurnal reflektif, penilaian sejawat, serta indikator performa berbasis waktu dan kontribusi (14,15). Sistem ini mendukung implementasi evaluasi formatif (berkelanjutan) dan evaluasi sumatif (pada akhir periode), yang keduanya sama-sama penting dalam PjBL (14,15).

Meskipun demikian, implementasinya menghadapi tantangan signifikan. Salah satu tantangan utama adalah kesulitan dalam menilai kontribusi individu secara adil dalam sebuah kerja tim, yang sering kali menyulitkan dosen untuk membedakan antara mahasiswa yang aktif dan pasif (16). Selain itu, minimnya alat bantu yang memadai untuk mendokumentasikan proses belajar secara sistematis juga turut menjadi kendala utama yang perlu diatasi (16,17).

2.4 Educational Data Mining

Educational Data Mining (EDM) adalah bidang interdisipliner yang menerapkan teknik data mining untuk mengeksplorasi data pembelajaran guna menemukan pola dan wawasan baru untuk memahami proses belajar serta mendukung pengambilan keputusan akademik (18,19). Sebagai bidang yang berada di persimpangan ilmu komputer, statistika, dan pendidikan (18), EDM memanfaatkan berbagai teknik seperti klasifikasi, klusterisasi, *text mining*, *sequential pattern mining*, *association rule mining*, dan *anomaly detection* (18,20,21). Dalam konteks PjBL, EDM dapat dimanfaatkan untuk memantau perkembangan individu melalui analisis *logbook* (22,23), melakukan deteksi dini masalah akademik (24,25), serta mendukung evaluasi keterlibatan dan kontribusi secara lebih objektif dan transparan (21,26).

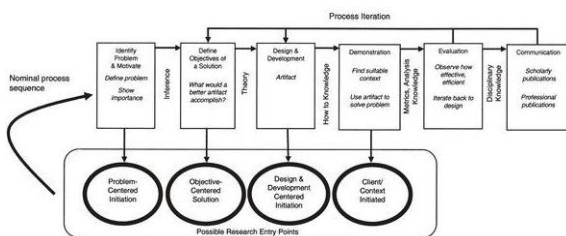
2.5 Learning Analytics

Learning Analytics (LA) berfokus pada pengukuran, pengumpulan, analisis, dan pelaporan data pembelajaran guna memahami serta mengoptimalkan proses belajar dan mendukung pengambilan keputusan akademik (27,28). Tujuannya adalah meningkatkan efektivitas pembelajaran melalui pemantauan aktivitas secara real-time, evaluasi metode, dan intervensi dini bagi mahasiswa yang mengalami kesulitan (29,30). Secara analitis, LA dikategorikan menjadi *Descriptive*, *Diagnostic*, *Predictive*, dan *Prescriptive Analytics* (29). Salah satu wujud implementasinya adalah

Learning Analytics Dashboard (LAD), yaitu representasi visual data pembelajaran untuk meningkatkan kesadaran belajar dan mendukung keputusan dosen (31,32). Dalam PjBL, LA potensial untuk menangkap dinamika proses belajar, memantau keterlibatan, mendeteksi masalah, dan mengidentifikasi kontribusi individu dalam kerja kelompok (33,34).

3. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Design Science Research* (DSR) berdasarkan model enam tahapan (9), yang terdiri dari: (1) identifikasi masalah dan motivasi, (2) penentuan tujuan solusi, (3) desain dan pengembangan, (4) demonstrasi, (5) evaluasi, dan (6) komunikasi. Setiap proses bersifat iteratif dan disusun untuk menghasilkan artefak ilmiah yang relevan secara praktis dan rigor secara metodologis. Validitas metodologi diperkuat dengan tujuh pedoman DSR dari Hevner et al. (2004).



Gambar 1. Tahapan Penelitian *Design Science Research Methodology*

Adapun penjelasan dari tahapan-tahapan metode DSR

1. Identifikasi Masalah dan Motivasi

Tahap ini dilakukan untuk merumuskan permasalahan yang nyata dalam konteks domain penelitian dan memberikan alasan yang kuat atas perlunya pengembangan solusi (9). Proses identifikasi dilakukan melalui observasi dan wawancara semi-terstruktur terhadap delapan narasumber strategis di JTK Polban. Kajian literatur turut dilakukan untuk memperkuat pemahaman terhadap permasalahan serta menyusun fokus penelitian. Hasil dari tahap ini menjadi dasar dalam merumuskan tujuan solusi dan mendesain artefak sistem.

2. Penentuan Tujuan Solusi

Tahap ini bertujuan untuk merumuskan karakteristik dan tujuan dari solusi yang akan dikembangkan agar mampu menyelesaikan permasalahan secara efektif (9). Tujuan dirumuskan kedalam beberapa poin konsep yang mencerminkan peran dan mekanisme artefak dalam menjawab kebutuhan yang telah diidentifikasi sebelumnya serta menjadi acuan konsep yang akan dibuktikan di aplikasi PoC. Hasil dari tahap ini digunakan sebagai acuan dalam mendesain sistem secara konseptual.

3. Desain dan Pengembangan

Tahap ini berfokus pada perancangan dan pembangunan artefak berdasarkan tujuan solusi yang telah ditetapkan (9). Dalam penelitian ini, model konseptual sistem dirancang secara konseptual untuk mencakup seluruh fase siklus mata kuliah proyek. Desain aplikasi juga disusun untuk mendukung fungsionalitas yang diperlukan untuk

membuktikan konsep yang di tahap sebelumnya telah didefinisikan. Hasil dari tahap ini adalah model konseptual sistem dan rancangan aplikasi PoC.

4. Demonstrasi

Tahap demonstrasi dilakukan untuk menunjukkan bahwa artefak dapat digunakan dalam konteks nyata guna menyelesaikan permasalahan (9). Demonstrasi dilakukan melalui pembangunan aplikasi PoC pada fitur logbook analytics untuk memperlihatkan fungsionalitas teknis artefak dan memperlihatkan aplikasi PoC ini dapat membuktikan konsep yang didefinisikan. Aplikasi PoC diuji menggunakan data logbook riil mahasiswa.

5. Evaluasi

Tahap ini bertujuan untuk mengukur kualitas dan efektivitas artefak terhadap permasalahan yang telah dirumuskan (9). Evaluasi dilakukan secara *ex ante* dan *ex post* awal, menggunakan pendekatan multi-metode (8). Evaluasi mencakup pengujian model konseptual dalam mencapai tujuan solusi yang didefinisikan dan pengujian aplikasi PoC dalam membuktikan konsep.

6. Komunikasi

Tahap akhir bertujuan untuk menyampaikan hasil penelitian kepada komunitas ilmiah dan praktisi (9). Hasil penelitian dikomunikasikan kepada komunitas ilmiah dan profesional melalui publikasi ilmiah serta presentasi ilmiah. Dokumentasi artefak dan proses pengembangannya disusun untuk mendukung diseminasi pengetahuan serta mendorong adopsi dan replikasi di konteks serupa.

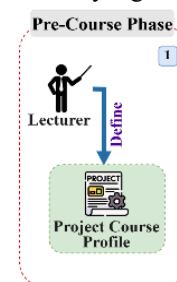
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perancangan Model Konseptual Sistem

Artefak utama dari penelitian ini adalah model konseptual sistem evaluasi pembelajaran berbasis data, yang dirancang untuk mendukung dosen dalam memantau, menganalisis, dan mengevaluasi progres serta kontribusi mahasiswa secara objektif dan berbasis data. Model konseptual ini merancang skema interaksi antara mahasiswa, dosen, serta data pembelajaran, yang terdistribusi ke dalam empat fase utama dalam siklus perkuliahan berbasis proyek, sebagai berikut:

1. Pre-Course Phase

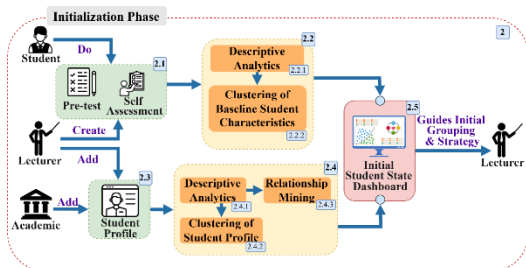
Pada fase ini, dosen mendefinisikan seluruh komponen dasar perkuliahan yang meliputi target pembelajaran, jadwal pelaksanaan, serta rubrik penilaian yang akan digunakan selama siklus proyek berlangsung. Komponen-komponen ini menjadi landasan awal bagi sistem untuk menyusun strategi evaluasi yang sistematis.



Gambar 2. Submodel Pre-Course Phase

2. Initialization Phase

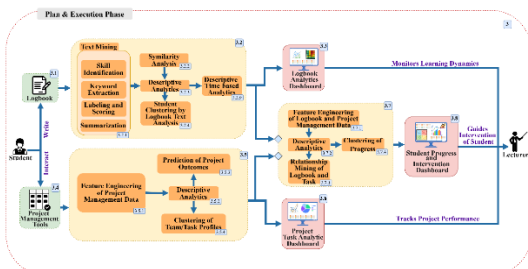
Fase ini berfokus pada pengumpulan dan analisis data awal mahasiswa, seperti hasil pre-test, isian self-assessment, serta profil akademik historis. Informasi tersebut dimanfaatkan oleh dosen untuk menentukan strategi pembentukan kelompok proyek dan pola bimbingan awal yang lebih adaptif terhadap kondisi mahasiswa.



Gambar 3. Submodel Initialization Phase

3. Plan & Execution Phase

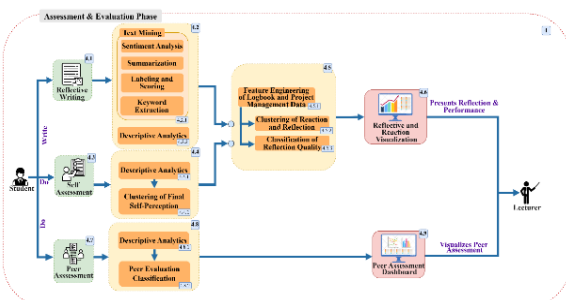
Fase ini menangani dinamika proses pembelajaran selama pelaksanaan proyek. Aktivitas mahasiswa didokumentasikan dalam bentuk logbook naratif dan data dari alat manajemen proyek. Data tersebut diproses menggunakan pendekatan analitik dan divisualisasikan melalui dashboard pemantauan, yang memungkinkan deteksi dini, pemetaan kontribusi, serta pemberian intervensi secara lebih tepat sasaran.



Gambar 4. Submodel Plan dan Execution Phase

4. Assessment & Evaluation Phase

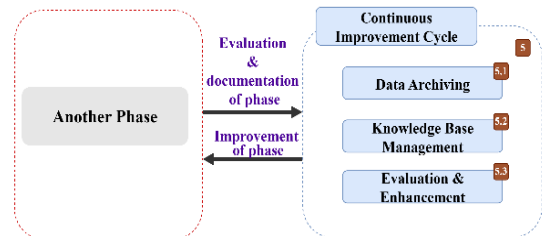
Fase terakhir ini berfokus pada penilaian menyeluruh terhadap performa dan proses belajar mahasiswa. Penilaian dilakukan secara holistik dengan mempertimbangkan berbagai sumber data, termasuk self-assessment, peer assessment, dan reflective writing. Pendekatan ini mendukung evaluasi formatif maupun sumatif secara lebih objektif dan terdokumentasi.



Gambar 5. Submodel Assessment and Evaluation Phase

5. Continuous Improvement Cycle

Fase ini merupakan siklus meta yang berjalan secara berkelanjutan untuk mengevaluasi dan menyempurnakan metodologi pembelajaran. Berbeda dari fase lain yang berfokus pada mahasiswa, siklus ini memanfaatkan data dan temuan dari siklus yang telah berjalan untuk memastikan model evaluasi tetap adaptif serta mampu membangun pengetahuan institusional dari waktu ke waktu



Gambar 6. Submodel Continuous Improvement Cycle

4.2. Demonstrasi dan Implementasi Aplikasi PoC

Untuk mendemonstrasikan model konseptual yang telah dirancang dan memvalidasi fungsionalitasnya, dikembangkan aplikasi PoC berbasis Odoo dengan fokus pada analitik logbook mahasiswa. Logbook dipilih karena sifatnya yang naratif, longitudinal, dan kaya informasi mengenai proses, strategi, dan refleksi belajar. Tiga visualisasi utama ditampilkan sebagai representasi kemampuan aplikasi dalam mengolah data logbook menjadi insight terstruktur:

1. Wordcloud Kata Kunci Logbook menampilkan kata-kata dominan yang sering muncul dalam logbook, memungkinkan identifikasi cepat terhadap tema penting dan aktivitas utama mahasiswa selama proyek, seperti "diskusi", "fitur", dan "kendala".



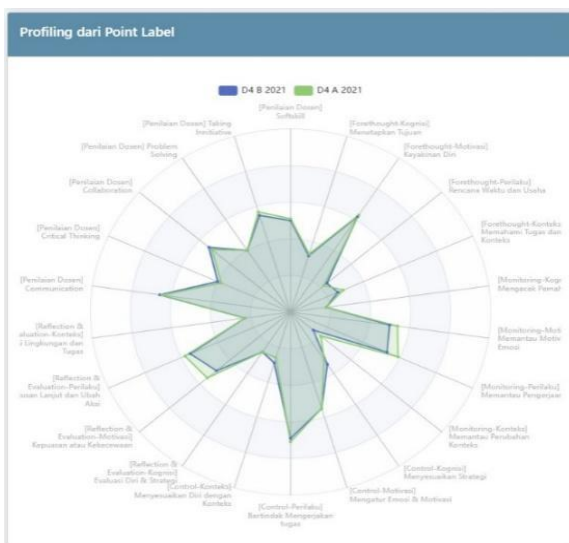
Gambar 7. Visualisasi Wordcloud Keyword Logbook

2. Klasterisasi Refleksi dan Aktivitas memetakan mahasiswa berdasarkan kualitas refleksi diri dan intensitas aktivitas. Hasil klasterisasi ini membantu dosen mengidentifikasi karakteristik perilaku belajar dan menyusun strategi intervensi secara lebih terarah.



Gambar 8. Visualisasi *Clustering* Mahasiswa

3. Profil Rata-Rata Poin per Label menyajikan perbandingan kontribusi mahasiswa dalam berbagai aspek pembelajaran melalui diagram radar. Visualisasi ini memudahkan pemantauan kekuatan dan kelemahan mahasiswa secara agregat maupun per kelas.



Gambar 9. Visualisasi *Profiling* Perbandingan per Kelas

Ketiga visualisasi ini menunjukkan kemampuan aplikasi PoC dalam mengkonversi logbook naratif menjadi data evaluatif yang informatif, mendukung pemantauan proses belajar dan pengambilan keputusan berbasis data

4.3. Evaluasi Artefak dan Temuan Kunci

Aplikasi PoC dievaluasi secara komprehensif melalui beberapa metode. Secara fungsional, sistem divalidasi menggunakan *blackbox testing*, di mana seluruhnya dinyatakan valid dan berjalan sesuai skenario.

Secara reliabilitas, pengujian performa menunjukkan bahwa sistem stabil pada skala menengah (4 kelas, >3.000 logbook). Namun, pengujian pada fitur komputasi berat seperti ekstraksi logbook mengungkap adanya tantangan skalabilitas, di mana waktu pemrosesan meningkat drastis saat volume data ditingkatkan secara signifikan. Temuan ini mengidentifikasi kebutuhan optimasi arsitektur untuk implementasi skala besar. Meskipun demikian, visualisasi yang dihasilkan seperti radar label, *wordcloud*, dan klasterisasi terbukti efektif mendukung pemantauan progres dan deteksi dini

4.4. Temuan dan Kontribusi

Penelitian ini menunjukkan bahwa model konseptual sistem evaluasi pembelajaran berbasis data yang dikembangkan memiliki potensi untuk meningkatkan objektivitas dan transparansi evaluasi dalam mata kuliah proyek. Meskipun implementasi masih terbatas pada aplikasi PoC, hasil demonstrasi menunjukkan kemampuan sistem dalam mengolah logbook naratif menjadi insight terstruktur melalui fitur analitik seperti wordcloud, radar poin per label, dan klasterisasi aktivitas-refleksi. Visualisasi ini mendukung pemantauan kontribusi mahasiswa serta deteksi dini risiko stagnasi.

Aplikasi PoC merepresentasikan fungsi utama model konseptual, sehingga efektivitas fitur yang ditampilkan mencerminkan potensi model konseptual secara keseluruhan. Dengan demikian, artefak telah menunjukkan validitas awal sebagai solusi terhadap permasalahan yang diidentifikasi.

Kontribusi penelitian mencakup: (1) praktis, sebagai rujukan awal pengembangan sistem evaluasi berbasis data di JTK Polban; (2) teoritis, memperkaya literatur EDM dan LA untuk data tidak terstruktur di pendidikan vokasi; dan (3) institusional, mendukung pelaksanaan evaluasi yang objektif, transparan, dan terstandar, serta dapat dijadikan acuan kebijakan evaluasi PjBL di tingkat program studi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Penelitian ini merancang dan mengembangkan model konseptual sistem evaluasi pembelajaran berbasis data untuk mendukung objektivitas dan transparansi dalam evaluasi mata kuliah proyek. Model konseptual ini mengintegrasikan pendekatan Educational Data Mining (EDM) dan Learning Analytics (LA) dalam kerangka Design Science Research, serta mencakup seluruh fase pembelajaran berbasis proyek.

Implementasi model konseptual dalam bentuk aplikasi PoC difokuskan pada analitik logbook dan berhasil mendemonstrasikan potensi sistem dalam mengubah data naratif menjadi insight terstruktur, mendukung pemantauan proses, deteksi dini, dan evaluasi kontribusi mahasiswa.

Implementasi model konseptual dalam bentuk aplikasi PoC telah terbukti valid secara fungsional dalam mengubah data naratif logbook menjadi *insight* terstruktur untuk mendukung pemantauan, deteksi dini, dan evaluasi kontribusi mahasiswa. Namun, evaluasi performa juga mengungkap adanya tantangan reliabilitas dan skalabilitas yang perlu diatasi sebelum implementasi skala besar, khususnya pada fitur yang melibatkan komputasi berat

Kontribusi utama penelitian ini mencakup: (1) Praktis – sebagai model rujukan awal bagi pengembangan sistem evaluasi PjBL berbasis data; (2) Teoritis – memperkaya literatur integrasi EDM dan LA dalam konteks pendidikan vokasi; dan (3) Institusional – mendukung pemantauan, deteksi dini, dan evaluasi objektif dalam PjBL, serta menjadi acuan pelaksanaan perkuliahan proyek.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini dan sebagai panduan untuk pengembangan artefak di masa mendatang, beberapa saran dikemukakan:

1. Optimalisasi Arsitektur dan Performa: Prioritas utama adalah melakukan perbaikan arsitektural untuk mengatasi bottleneck performa yang teridentifikasi. Disarankan untuk mengatasi N+1 Query Problem dan menerapkan pemrosesan asinkron (background job queue) untuk tugas komputasi berat seperti ekstraksi LLM, agar sistem tetap responsif.
2. Integrasi Fitur Pedagogis dan Validasi Lapangan: Mengembangkan sistem dengan mengintegrasikan fitur yang dapat meningkatkan kualitas input data (misalnya panduan refleksi terstruktur atau mekanisme peer-feedback). Selanjutnya, melakukan evaluasi lapangan (field study) untuk memvalidasi temuan analitik dengan praktik pengajaran nyata.
3. Ekspansi Sumber Data dan Eksplorasi Algoritma: Mengintegrasikan sumber data lain yang relevan seperti data dari project management tools atau LMS. Selain itu, mengeksplorasi teknik yang lebih canggih seperti Retrieval-Augmented Generation (RAG) untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi analisis teks..

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung, khususnya Jurusan Teknik Komputer dan Informatika, atas dukungan dan fasilitas yang telah diberikan selama pelaksanaan penelitian tugas akhir ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Bapak/Ibu dosen pembimbing, Bapak/Ibu dosen penguji, serta seluruh dosen pengampu mata kuliah proyek yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan wawasan berharga. Dukungan moral serta doa dari orang tua dan keluarga turut memberikan kekuatan selama proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Guo P, Saab N, Post LS, Admiraal W. A review of project-based learning in higher education: Student outcomes and measures. *Int J Educ Res*. 2020;102.
2. Volkova A. Specification and Design of a Dashboard for Monitoring the Learning Process in Software Projects Developed by Teams of Students. [Barcelona]: Universitat Politècnica de Catalunya; 2022.
3. Simic D, Leible S, Schmitz D, Gücük GL, Kučević E. Enhancing Project-based Learning through Data-driven Analysis and Visualisation: A Case Study. In 2023.
4. Ji M. Exploiting activity traces and learners' reports to support self-regulation in project-based learning [Internet]. INSA de Lyon; 2015. Available from: <https://theses.hal.science/tel-01212256>
5. Nguyen NBC, Lithander M, Östlund CM, Karunaratne T, Jobe W. TEADASH: Implementing and Evaluating a Teacher-Facing Dashboard Using Design Science Research. *Informatics*. 2024 Aug 26;11(3):61.
6. Mehrnoosh Vahdat. Learning analytics and educational data mining for inquiry-based learning [Phd Thesis]. [Eindhoven]: Technische Universiteit Eindhoven; 2017.
7. Hevner, March, Park, Ram. Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*. 2004;28(1):75.
8. Johannesson P, Perjons E. An Introduction to Design Science. Cham: Springer International Publishing; 2014.
9. Peffers K, Tuunanen T, Rothenberger MA, Chatterjee S. A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems*. 2007 Dec 8;24(3):45–77.
10. Kokotsaki D, Menzies V, Wiggins A. Project-based learning: A review of the literature. *Improving Schools*. 2016 Nov 24;19(3):267–77.
11. Badir A, O'Neill R, Kinzli KD, Komisar S, Kim JY. Fostering Project-Based Learning through Industry Engagement in Capstone Design Projects. *Educ Sci (Basel)*. 2023 Mar 31;13(4):361.
12. Meng N, Dong Y, Roehrs D, Luan L. Tackle implementation challenges in project-based learning: a survey study of PBL e-learning platforms. *Educational technology research and development*. 2023 Jun 28;71(3):1179–207.
13. Ahmed S, Grollo L, Czech D. Industry Perspectives on Project-Based Learning as a Form of Work-Integrated Learning in Science. *Journal of Teaching and Learning for Graduate Employability*. 2024 Aug 2;15(1):225–48.
14. Chanpet P, Chomsuwan K, Murphy E. Online Project-Based Learning and Formative Assessment. *Technology, Knowledge and Learning*. 2020 Sep 25;25(3):685–705.
15. Cifrian E, Andrés A, Galán B, Viguri JR. Integration of different assessment approaches: application to a project-based learning engineering course. *Education for Chemical Engineers*. 2020 Apr;31:62–75.
16. Wang XM, Yu XH, Hwang GJ, Hu QN. An online progressive peer assessment approach to project-based learning: a constructivist perspective. *Educational technology research and development*. 2023 Oct 22;71(5):2073–101.
17. Zhao B, Zhao B, Li C. Alignment analysis of teaching-learning-assessment within the classroom: how teachers implement project-based learning under the curriculum standards. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*. 2023 Sep 11;5(1):13.
18. Romero C, Ventura S. Educational Data Mining: A Review of the State of the Art. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*. 2010 Nov;40(6):601–18.
19. Baker R, Siemens G. Educational data mining and learning analytics. In 2014. p. 253–72.
20. Peña-Ayala A. Educational data mining: A survey and a data mining-based analysis of recent works. *Expert Syst Appl*. 2014 Mar;41(4):1432–62.
21. Hasan R, Palaniappan S, Mahmood S, Abbas A, Sarker KU, Sattar MU. Predicting Student Performance in Higher Educational Institutions Using Video Learning Analytics and Data Mining Techniques. *Applied Sciences*. 2020 Jun 4;10(11):3894.
22. Araka E, Maina E, Gitonga R, Oboko R. A Conceptual Model for Measuring and Supporting Self-Regulated Learning using Educational Data Mining on Learning Management Systems. In: 2019 IST-Africa Week Conference (IST-Africa). IEEE; 2019. p. 1–11.
23. Michel C, Lavoué E, George S, Ji M. Supporting awareness and self-regulation in project-based learning through personalised dashboards. *International Journal of Technology Enhanced Learning*. 2017;9(2/3):204.

24. Queiroga EM, Batista Machado MF, Paragarino VR, Primo TT, Cechinel C. Early Prediction of At-Risk Students in Secondary Education: A Countrywide K-12 Learning Analytics Initiative in Uruguay. *Information*. 2022 Aug 23;13(9):401.
25. Nuankaew P. Self-Regulated Learning Model in Educational Data Mining. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*. 2022 Sep 8;17(17):4–27.
26. Winne P. Leveraging Big Data to Help Each Learner and Accelerate Learning Science. *Teachers College Record: The Voice of Scholarship in Education*. 2017 Jul;119.
27. Siemens G. Learning Analytics. *American Behavioral Scientist*. 2013 Oct 20;57(10):1380–400.
28. Chatti MA, Dyckhoff AL, Schroeder U, Thüs H. A reference model for learning analytics. *International Journal of Technology Enhanced Learning*. 2012;4(5/6):318.
29. Hernández-de-Menéndez M, Morales-Menendez R, Escobar CA, Ramírez Mendoza RA. Learning analytics: state of the art. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*. 2022 Sep 18;16(3):1209–30.
30. Ferguson R. Learning analytics: Drivers, developments and challenges. *International Journal of Technology Enhanced Learning*. 2012 Jul;4:304–17.
31. Matcha W, Uzir NA, Gasevic D, Pardo A. A Systematic Review of Empirical Studies on Learning Analytics Dashboards: A Self-Regulated Learning Perspective. *IEEE Transactions on Learning Technologies*. 2020 Apr 1;13(2):226–45.
32. Verbert K, Duval E, Klerkx J, Govaerts S, Santos JL. Learning Analytics Dashboard Applications. *American Behavioral Scientist*. 2013 Oct 28;57(10):1500–9.
33. Gillet D, Holzer A, Schwendimann BA, Boroujeni MS, Vozniuk A, Prieto LP, et al. Monitoring, awareness and reflection in blended technology enhanced learning: a systematic review. *International Journal of Technology Enhanced Learning*. 2017;9(2/3):126.
34. Ifenthaler D, Gibson D, Prasse D, Shimada A, Yamada M. Putting learning back into learning analytics: actions for policy makers, researchers, and practitioners. *Educational Technology Research and Development*. 2021 Aug 30;69(4):2131–50.