

Analisis Multidimensi Pada Perkuliahan Untuk Memperbaiki Pencapaian CLO Mahasiswa Tingkat 4

Nizur Adha¹, Rachmadita Andreswari², Taufik Nur Adi³

¹Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom, email: adhanizur@student.telkomuniversity.ac.id

²Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom, email: andreswari@telkomuniversity.ac.id

³Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom, email: taufikna@telkomuniversity.ac.id

Submitted: 10-07-2023, Reviewed: 09-08-2023, Accepted: 25-08-2023

<https://doi.org/10.47233/jteksis.v5i4.952>

Abstract

In this research, the learning process at the fourth level is the main focus because students at this level will be equipped with courses to achieve a broad range of competencies in the field of Information Systems (IS Breadth). Therefore, an analysis is needed to ensure the achievement of learning outcomes by examining the learning path taken during the fourth-level academic process. The process mining method is utilized to analyze fourth-level students' learning processes. Multidimensional analysis is applied to gain a more comprehensive understanding of the data, and the process cube provides a depiction of data from various dimensions. Supported by Celonis tools, the research aims to discover the learning process model from different perspectives, such as time, courses, lecturers, Course Learning Outcomes (CLO), and CLO grades. Then, conformance checking is performed to assess the alignment of the process model with the event log. The best conformance for each process model will be transformed into BPMN for easier communication of information. This research recommends an ideal process flow, where students who pass most of the Course Learning Outcomes (CLO) engage in LMS activities such as assignments, quizzes, files, and H5P.

Keywords: Process Mining, Multidimensional Analysis, Process Cube, Event Log

Abstrak

Pada penelitian ini, proses pembelajaran pada tingkat empat akan menjadi fokus utama dikarenakan mahasiswa pada tingkat ini akan dibekali dengan mata kuliah untuk pencapaian keluasan kompetensi di bidang Sistem Informasi (*IS Breadth*). Sehingga, diperlukannya analisis untuk memastikan ketercapaian dari *learning outcome* dengan melihat *learning path* yang dijalankan selama proses perkuliahan di tingkat empat. Metode *process mining* dimanfaatkan untuk analisis proses pembelajaran mahasiswa tingkat empat. Analisis multidimensi diterapkan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang data dan *process cube* memberikan gambaran data dari berbagai dimensi. Didukung dengan *tools* Celonis untuk dapat menemukan model proses pembelajaran yang dilihat dari berbagai sudut pandang dimensi seperti waktu, mata kuliah, dosen, CLO dan nilai CLO. Lalu, *conformance checking* dilakukan untuk melihat kesesuaian model proses dengan *event log*. *Conformance* terbaik untuk setiap model proses akan ditransformasikan menjadi BPMN agar dapat menyampaikan informasi dengan lebih mudah. Hasil dari penelitian ini berupa rekomendasi alur model proses yang dianggap ideal, untuk mahasiswa yang lulus pada sebagian besar CLO melakukan aktivitas dalam LMS seperti *assignment*, *quiz*, *file*, dan *H5P*.

Keywords: Penambahan Proses, Analisis Multidimensi, *Process Cube*, *Event Log*

This work is licensed under Creative Commons Attribution License 4.0 CC-BY International license



PENDAHULUAN

Penelitian ini dilakukan karena didasari belum adanya penelitian yang membahas mengenai analisis multidimensi terutama pada aspek proses pembelajaran yang ada pada *Learning Management System* (LMS). Proses pembelajaran mahasiswa sistem informasi pada tingkat empat akan menjadi fokus utama dari penelitian ini, dikarenakan mahasiswa pada tingkat ini akan dibekali dengan mata kuliah untuk pencapaian keluasan kompetensi di bidang Sistem Informasi (*IS Breadth*). Sehingga, diperlukannya analisis untuk memastikan ketercapaian dari *learning outcome* dengan melihat *learning path* yang dijalankan selama proses perkuliahan. Dengan pemetaan mata kuliah didasarkan pada kriteria khusus *Indonesian*

Accreditation Board for Engineering Education (IABEE) yang dilihat pada area *Information Systems Environment* [1]. Pemilihan mata kuliah pada area *Information Systems Environment* ini dikarenakan mata kuliah dalam kategori tersebut berkontribusi besar terhadap pembentukan kompetensi dalam program studi Sistem Informasi [1].

Di lingkungan Universitas Telkom, proses perkuliahan yang dilaksanakan saat ini bersifat tatap muka terbatas dengan model *Hybrid* dan *Blended Learning* (HBL). Perkuliahan HBL ini dimulai pada Kamis (12/5) dengan jumlah lebih dari tujuh ribu mahasiswa [2]. Universitas Telkom telah melakukan upaya untuk dapat melaksanakan proses pembelajaran berbasis *e-learning* sejak tahun 2017 hingga terciptanya *Center for e-Learning and Open*

Education Learning Management System (CeLOE LMS) yang disahkan pada tahun 2018 [3]. Platform ini dimanfaatkan sebagai perantara antara dosen dengan mahasiswa untuk proses kegiatan pembelajaran. Mahasiswa dapat melakukan berbagai aktivitas, mulai dari melakukan akses materi perkuliahan, mengerjakan kuis, mengumpulkan tugas, dan berdiskusi. Pemanfaatan dari CeLOE LMS mengalami peningkatan pada tahun 2019 ketika terjadinya *Coronavirus Disease 2019 (Covid-19)* yang memaksa perguruan tinggi harus melakukan proses pembelajaran secara daring, sehingga timbulnya permasalahan terhadap proses pembelajaran yang secara tiba-tiba berubah tersebut dikarenakan belum adanya pola proses pembelajaran yang baik untuk ketercapaian dari *learning outcome*. Demi tercapainya *learning outcome*, penerapan dari LMS haruslah sesuai dengan *learning path* yang akan dijalankan. *Learning path* akan membantu perguruan tinggi untuk dapat menentukan pola pembelajaran dengan lebih terstruktur.

Pada proses pembelajaran di Universitas Telkom, setiap mahasiswa mengambil mata kuliah yang berbeda pada setiap semesternya. Mata kuliah yang diambil berdasarkan ketentuan dari masing-masing fakultas di setiap angkatan. Fakultas Rekayasa Industri terutama jurusan Sistem Informasi menyusun mata kuliah berdasarkan logika keilmuannya mulai dari yang paling dasar sampai dengan tahap lanjut (*advanced*), dimana untuk tingkat satu menekankan pada pencapaian kompetensi tingkat dasar atau *IS Fundamental* dan *Basic Science*, tingkat dua pada pencapaian kompetensi utama Sistem Informasi (*IS Core*), tingkat tiga pada pencapaian kedalaman kompetensi di bidang Sistem Informasi (*IS Depth*) dan pada tingkat empat pada pencapaian keluasan kompetensi di bidang Sistem Informasi (*IS Breadth*) [1].

Untuk dapat memahami pola pembelajaran pada tingkat empat ini, diperlukannya metode *process mining* untuk mengolah data menggunakan analisis multidimensi dengan *process cube*. *Process mining* merupakan ide yang memanfaatkan *event log* untuk dapat dilakukannya ekstraksi pengetahuan di dalam suatu sistem informasi yang kompleks dengan tujuan untuk dilakukannya pemantauan dan melakukan peningkatan terhadap operasionalnya [4]. *Process mining* memiliki tiga alur proses utama untuk mengekstraksi pengetahuan dari *event log* yakni *discovery*, *conformance checking*, dan *enhancement* [5]. Analisis multidimensi dilakukan karena memungkinkan pengguna untuk mendapatkan analisis data secara lebih luas. Data *cube* merupakan representasi dari data *multidimensional*, yang dimana setiap sel pada data *cube* mewakili fakta agregat yang dijelaskan oleh sumbu analisis. Ini memiliki kesesuaian dengan

dimensi *cube*. Fakta diamati dengan ukuran yang diasosiasikan dengan fungsi agregasi mulai dari SUM, AVG, MAX, dan MIN. Suatu dimensi dapat diatur dalam hierarki, dengan begitu fakta-fakta dapat dilihat dengan detail yang berbeda. Maka dari itu, informasi dikumpulkan dalam *cube* sesuai dengan kebutuhan dari penggunaannya [6]. Berdasarkan data *cube* kita dapat melakukan sebuah penerapan *process cube*. *Process cube* memungkinkan untuk secara efektif memilih dan menganalisis subset data yang relevan pada granularitas yang berbeda dan menyajikan pengetahuan yang ditemukan pada tingkat abstraksi yang berbeda seperti *slice*, *dice*, *roll up* dan *drill down* [6]. Hal tersebut juga didukung dengan *tools* dari *process mining* yaitu Celonis yang menerapkan teknologi dengan sebutan *X-ray* untuk dapat menemukan dan memperbaiki ketidakefisienan yang ada pada proses, sehingga memungkinkan untuk melakukan peningkatan pada proses dengan mengurangi hambatan (*bottleneck*), menerapkan otomatisasi, serta melakukan rekayasa ulang proses untuk meningkatkan hasil. Selain itu, Celonis mampu melakukan pengolahan *event log* secara efisien dengan bantuan *Process Query Language (PQL)* dan kecerdasan buatan yang mendukung kemampuan analisis [7], [8]. Per Januari 2023 Celonis masuk sebagai *leaders* untuk *magic quadrant process mining tools* [9]. Ini berarti *tools* Celonis mencerminkan kombinasi yang baik antara visi strategis yang kuat dan kemampuan eksekusi yang baik. *Tools* celonis dianggap sebagai layanan yang matang, inovatif dan dapat diandalkan [9].

Dari pemanfaatan data *event log* yang terekam di dalam sistem LMS Universitas Telkom pada mahasiswa tingkat empat, yang digambarkan oleh *process cube* dengan pemetaan mata kuliah kriteria khusus *Indonesian Accreditation Board for Engineering Education (IABEE)* yang dilihat pada area *Information Systems Environment*, penelitian ini diharapkan dapat menggambarkan pola pembelajaran yang dijalankan oleh mahasiswa di tingkat empat. Selain itu, dapat menggambarkan pencapaian dari *learning outcome* pada pembelajaran berdasarkan pemetaan mata kuliah kriteria khusus *Indonesian Accreditation Board for Engineering Education (IABEE)* pada area *Information Systems Environment* yang dilihat dari dimensi waktu, mata kuliah, dosen, CLO dan nilai CLO. Sehingga, mampu dijadikan suatu rekomendasi untuk dapat meningkatkan kualitas dari hasil pembelajaran khususnya pada tingkat empat.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, metode yang diterapkan adalah PM2. PM2 sendiri merupakan kepanjangan dari *Process Mining Project Methodology* adalah

suatu metode yang dikembangkan untuk meningkatkan kinerja dari suatu proses atau kepatuhan terhadap aturan dan regulasi.

2.1 Pengumpulan Data

Penelitian ini memanfaatkan *process mining* untuk mengolah *event log*. *Event log* yang berisikan informasi aktivitas yang tercatat pada *e-learning* Universitas Telkom untuk mata kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang diselenggarakan pada semester ganjil tahun ajaran 2022/2023. Mata kuliah tersebut dipilih berdasarkan kriteria khusus IABEE pada area *Information Systems Environment* yang sudah dijalankan oleh Universitas Telkom untuk jurusan S1 Sistem Informasi pada tingkat empat. Berikut merupakan data mata kuliah yang diambil.

Tabel 1. Pengumpulan Data

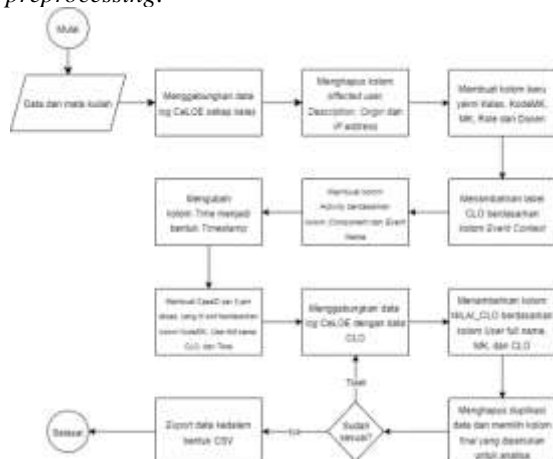
Nama Mata Kuliah	Program Studi	Jumlah Log (rows)
Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi	S1 Sistem Informasi	134.251

2.2 Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan penulis pada penelitian ini terbagi menjadi dua tahap yakni tahap data *processing* dan tahap *mining & analysis*.

a. Tahap Data Processing

Dilakukannya *preprocessing* pada *event log* mata kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi dengan bantuan *tools* Jupyter Notebook untuk menghilangkan atribut-atribut yang tidak dibutuhkan. Berikut merupakan *flowchart* tahap *preprocessing*.

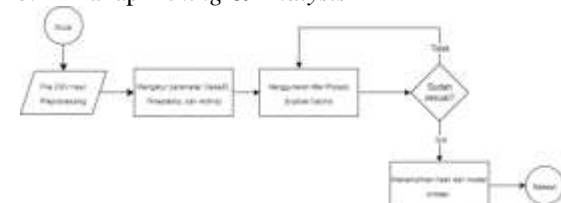


Gambar 1. Flowchart Preprocessing

Pada penelitian ini, *preprocessing* yang dilakukan adalah dengan menggunakan Jupyter Notebook. Tahap awal yang dilakukan oleh penulis adalah *data integration*, yaitu menggabungkan data

log CeLOE seluruh kelas yang mengambil mata kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi. Setelah itu, dilakukannya penghapusan untuk beberapa kolom yang tidak dibutuhkan, seperti *Affected user*, *Description*, *Origin*, dan *IP address*. Kemudian, membuat kolom baru seperti Kelas, Dosen, KodeMK, MK, dan *Role* untuk keperluan analisis multidimensi. Selanjutnya adalah membuat label CLO untuk masing-masing aktivitas berdasarkan *value* dari kolom *Event context* untuk menghasilkan kolom CLO. Pemberian label untuk masing-masing CLO ini dilakukan berdasarkan Rencana Pembelajaran Semester (RPS) mata kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi. Setelah itu, membuat kolom *Activity* yang menampung isi data dari gabungan kolom *Component* dan *Event name*. Hal tersebut dilakukan karena ingin melihat aktivitas dengan lebih detail terkait apa saja yang dikerjakan oleh mahasiswa. Lalu, mengubah *value* kolom *Time* menjadi bentuk *Timestamp* yakni DD-MM-YY untuk tanggal dan HH:MM untuk waktu, agar dapat dilakukan pengolahan untuk menentukan *CaseID*. *CaseID* dibentuk berdasarkan akses *user* per-3 jam dari jangka waktu RPS yang di kelompokkan berdasarkan kolom KodeMK, *User full name*, CLO, dan *Time*. Tahap selanjutnya adalah melakukan penggabungan data *log* CeLOE dan data CLO untuk membuat kolom NILAI_CLO berdasarkan kolom *User full name*, CLO, dan MK. Melakukan penghapusan duplikasi data dan memilih kolom *final* yang diperlukan untuk analisis seperti *CaseID*, *Time*, *User full name*, *Role*, *Activity*, Dosen, Kelas, CLO, MK, dan NILAI_CLO. Selanjutnya dilakukan *export* data ke dalam format CSV agar dapat digunakan sebagai *input* dari proses *discovery* dan *conformance* menggunakan *tools process mining* yakni Celonis.

b. Tahap Mining & Analysis



Gambar 2. Flowchart Discovery

Tahapan awal yang dilakukan pada *discovery* adalah melakukan *input* file CSV hasil *preprocessing* ke *tools* Celonis, kemudian mengatur parameter untuk masing-masing kolom yang meliputi *CaseID*, *Timestamp*, *Activity name* dan *Sorting*.



Gambar 3. Pengaturan Paramater Tools Celonis

Setelah dilakukannya pengaturan parameter pada tools, selanjutnya menggunakan filter *process explorer* untuk mengatur *rasio* dan *connections* untuk model proses. Model proses yang dihasilkan

disebut sebagai *initial common process model* dengan *event class* yang ditemukan pada *log* dikonversi menjadi *variants* aktivitas.



Gambar 4. Initial Common Process Model

Hasil dari *initial common process model* menggunakan filter *process explorer* dengan *rasio activities* sebesar 100% dan *connections* sebesar 100%, penggunaan dari filter tersebut akan menghasilkan model proses pada *event log* secara keseluruhan. Model proses yang dihasilkan masih perlu dilakukannya *process mining* lebih lanjut dikarenakan model yang ada masih sangat rumit (*spaghetti*) dan tidak bisa didapatkannya informasi maupun *knowledge* dari model tersebut.

2.3 Metode Evaluasi

Conformance checking adalah tahap validasi untuk model proses yang sudah dihasilkan sebelumnya, sesuai atau tidak dengan *event log* yang sudah ada, dan *event log* yang ada sudah sesuai dengan proses modelnya atautkah tidak. Pada tahap ini dilakukannya perubahan dari model proses yang berbentuk *initial common process model* menjadi BPMN menggunakan tools Celonis. Setelah itu, akan dilakukannya analisis dengan melihat *overview* hasil *conformance*. Hasil *conformance* nantinya berupa nilai *conforming cases* untuk melihat

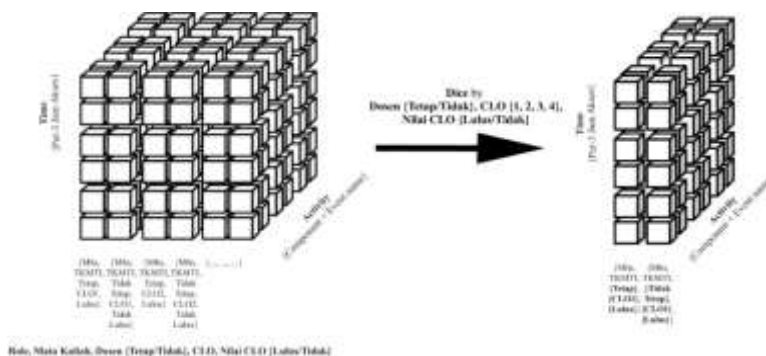
kecocokan dari *event log* dengan model proses maupun sebaliknya. Penelitian ini menerapkan beberapa skenario dan analisis nilai *conformance* yang dihasilkan untuk melihat kecocokan *event log* dengan model proses *initial common process model* dari skenario.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat tiga skenario yang dilakukan dengan tujuan agar mempermudah dalam melakukan analisis untuk dapat menghasilkan *happy path* atau *learning path* berdasarkan data *event log*.

3.1 Hasil Penerapan Skenario Satu

Pada skenario satu, setelah data *event log* dimasukkan kedalam tools Celonis, data akan dilakukan proses analisis multidimensi. Dilakukannya analisis multidimensi dengan tujuan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang data dari berbagai dimensi yang relevan. Analisis multidimensi diterapkan dengan operasi *process cube* yaitu *dice*. Operasi *dice* digunakan untuk melakukan filterisasi pada nilai-nilai dalam dimensi.



Gambar 5. Operasi Dice

Berdasarkan gambar di atas dilakukan penerapan dari operasi *dice* kepada data yang ada pada *hypercube* dengan memilih dimensi untuk dilakukannya filterisasi terhadap suatu nilai yang diterapkan pada dimensi Dosen, CLO dan Nilai CLO. Dengan hasil sub-kubus dari operasi *dice*, yakni dimensi dosen untuk melihat status dosen tetap dan tidak tetap, dimensi CLO untuk melihat CLO1 atau CLO2 atau CLO3 atau CLO4, serta dimensi Nilai CLO dengan status lulus atau tidak lulus. Operasi *dice* diterapkan untuk memenuhi 16 objektif, yang mana disini ditampilkan hanya sebagian saja, seperti yang terlihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Objektif

Objective	Cube Operation
Untuk mengetahui dan menganalisa mahasiswa pada Mata Kuliah TKMTI yang diajar oleh Dosen Tetap dengan status lulus pada CLO1 (Nilai lebih dari 50.01)	Dice, $fil(Role) = \{Mahasiswa\}$, $fil(MK) = TKMTI$, $fil(Dosen) = \{FLH, PDA, RUA\}$, $fil(CLO) = \{CLO1\}$, $fil(NILAI_CLO) = \{>= 50.01\}$
Untuk mengetahui dan menganalisa mahasiswa pada Mata Kuliah TKMTI yang diajar oleh Dosen Tetap dengan status tidak lulus pada CLO1 (Nilai kurang dari 50.01)	Dice, $fil(Role) = \{Mahasiswa\}$, $fil(MK) = TKMTI$, $fil(Dosen) = \{FLH, PDA, RUA\}$, $fil(CLO) = \{CLO1\}$, $fil(NILAI_CLO) = \{< 50.01\}$
.....

3.2 Hasil Penerapan Skenario Dua

Pengujian yang dilakukan pada skenario dua ialah menerapkan filter *variant* dengan 50% *cases* yang terwakili dari jumlah *case* keseluruhan.

Penerapan dari skenario dua ini tebetuknya pola pembelajaran yang dihasilkan dari mahasiswa tingkat empat berdasarkan CLO yang dijalankan untuk masing-masing status dosen yang mengajar yaitu tetap dan tidak tetap. Seperti yang terlihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Pola Pembelajaran Mahasiswa

CLO	Dosen	Status Nilai	Pola Pembelajaran
CLO1	Tetap	Lulus	Mengerjakan <i>assignment</i> , mengakses materi pembelajaran

CLO	Dosen	Status Nilai	Pola Pembelajaran
			berupa <i>file</i> , mengakses <i>forum</i> , mengakses <i>H5P</i> dan mengakses <i>URL</i>
CLO1	Tidak Tetap	Lulus	Mengerjakan <i>assignment</i> , mengakses materi pembelajaran berupa <i>file</i> , mengakses <i>forum</i> , mengakses <i>H5P</i> dan mengakses <i>URL</i>
CLO1	Tetap	Tidak Lulus	Mengakses materi pembelajaran berupa <i>file</i> dan mengakses <i>forum</i>
CLO1	Tidak Tetap	Tidak Lulus	-
CLO2	Tetap	Lulus	Mengerjakan <i>assignment</i> , mengakses materi pembelajaran berupa <i>file</i> , mengerjakan <i>quiz</i> , mengakses <i>forum</i> dan mengakses <i>H5P</i>
CLO2	Tidak Tetap	Lulus	Mengerjakan <i>assignment</i> , mengakses materi pembelajaran berupa <i>file</i> , mengakses <i>forum</i> , mengerjakan <i>quiz</i> , dan mengakses <i>H5P</i>
CLO2	Tetap	Tidak Lulus	Mengerjakan <i>assignment</i> , mengakses materi pembelajaran berupa <i>file</i> , mengakses <i>forum</i> dan mengerjakan <i>quiz</i>
CLO2	Tidak Tetap	Tidak Lulus	Mengerjakan <i>assignment</i> , mengakses materi pembelajaran

CLO	Dosen	Status Nilai	Pola Pembelajaran
			berupa <i>file</i> , mengerjakan <i>quiz</i> dan mengakses <i>forum</i>
CLO3	Tetap	Lulus	Mengerjakan <i>assignment</i> , mengakses materi pembelajaran berupa <i>file</i> , mengakses <i>forum</i> , mengerjakan <i>quiz</i> dan mengakses <i>H5P</i>
CLO3	Tidak Tetap	Lulus	Mengerjakan <i>assignment</i> , mengakses materi pembelajaran berupa <i>file</i> , mengakses <i>H5P</i> dan mengerjakan <i>quiz</i>
CLO3	Tetap	Tidak Lulus	Mengerjakan <i>assignment</i> dan mengakses materi pembelajaran berupa <i>file</i>
CLO3	Tidak Tetap	Tidak Lulus	Mengerjakan <i>assignment</i> dan mengerjakan <i>quiz</i>
CLO4	Tetap	Lulus	Mengerjakan <i>assignment</i> , mengakses materi pembelajaran berupa <i>file</i> dan mengakses <i>H5P</i>
CLO4	Tidak Tetap	Lulus	Mengerjakan <i>assignment</i> dan mengakses <i>H5P</i>
CLO4	Tetap	Tidak Lulus	<i>System</i>
CLO4	Tidak Tetap	Tidak Lulus	Mengerjakan <i>assignment</i>

3.3 Hasil Penerapan Skenario Tiga

Pada skenario ini, setelah mendapatkan *happy path* pada model proses maka akan dilakukannya evaluasi menggunakan *conformance checking* yang hasilnya akan berupa perbandingan terhadap model proses yang dihasilkan.

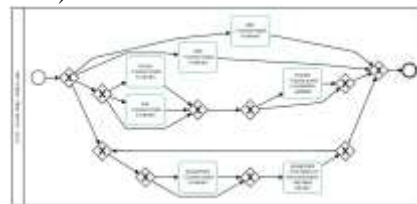
Tabel 4. Perbandingan Hasil *Conformance*

MK	Dosen	CLO	Status Nilai CLO	Conforming Cases (%)
TKMTI	Tetap	CLO1	Lulus	87%
TKMTI	Tidak Tetap	CLO1	Lulus	87%
TKMTI	Tetap	CLO1	Tidak Lulus	16%
TKMTI	Tidak Tetap	CLO1	Tidak Lulus	-
TKMTI	Tetap	CLO2	Lulus	92%

TKMTI	Tidak Tetap	CLO2	Lulus	85%
TKMTI	Tetap	CLO2	Tidak Lulus	62%
TKMTI	Tidak Tetap	CLO2	Tidak Lulus	80%
TKMTI	Tetap	CLO3	Lulus	89%
TKMTI	Tidak Tetap	CLO3	Lulus	79%
TKMTI	Tetap	CLO3	Tidak Lulus	56%
TKMTI	Tidak Tetap	CLO3	Tidak Lulus	44%
TKMTI	Tetap	CLO4	Lulus	69%
TKMTI	Tidak Tetap	CLO4	Lulus	50%
TKMTI	Tetap	CLO4	Tidak Lulus	8%
TKMTI	Tidak Tetap	CLO4	Tidak Lulus	43%

Diatas, merupakan perbandingan hasil *conformance* untuk masing-masing model proses. Persentase yang terdapat pada kolom *conforming cases* menjelaskan bahwa persentase kesesuaian kasus dengan model proses yang menunjukkan sejauh mana kasus-kasus yang ada mengikuti pola proses yang diharapkan. Sehingga semakin besar persentase, maka akan semakin baik. Berdasarkan hal tersebut, baris label berwarna kuning menandakan nilai *conforming cases* terbaik yang ada disetiap CLO dengan status nilai yaitu lulus dan tidak lulus baik dari status dosen tetap maupun tidak tetap. Model proses dengan hasil *conformance* terbaik untuk setiap status nilai lulus dan tidak lulus dari masing-masing CLO akan dilakukannya transformasi kedalam bentuk BPMN, yang bertujuan untuk dapat menjabarkan informasi dengan lebih mudah.

- a. BPMN Mata Kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang Diajar oleh Dosen Status Tetap dengan Status Lulus pada CLO1 (Nilai lebih dari 50.01)

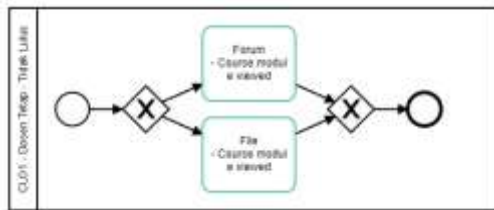


Gambar 6. BPMN Mata Kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang Diajar oleh Dosen Status Tetap untuk Mahasiswa dengan Status Lulus pada CLO1

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa mahasiswa pada mata kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang diajar oleh dosen tetap dengan status lulus pada CLO1 aktif dan dapat melakukan penyelesaian terhadap beberapa komponen aktivitas di LMS selama satu kali pertemuan, mulai dari mengerjakan komponen aktivitas *assignment*, atau melakukan akses

terhadap materi pembelajaran berupa *file*, mengakses komponen *forum*, mengakses komponen *H5P*, serta mengakses *URL*.

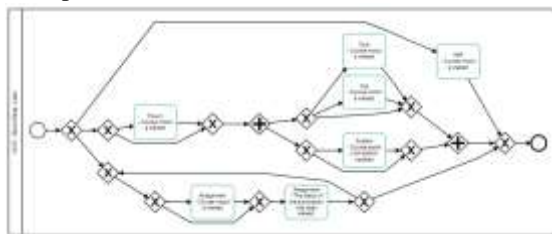
- b. BPMN Mata Kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang Diajar oleh Dosen Status Tetap dengan Status Tidak Lulus pada CLO1 (Nilai kurang dari 50.01)



Gambar 7. BPMN Mata Kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang Diajar oleh Dosen Status Tetap untuk Mahasiswa dengan Status Tidak Lulus pada CLO1

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa mahasiswa pada mata kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang diajar oleh dosen tetap dengan status tidak lulus pada CLO1, mahasiswa cenderung tidak aktif selama satu kali pertemuan menggunakan LMS, aktivitas yang dijalankan hanya sebatas mengakses materi pembelajaran berupa *file* dan mengakses komponen *forum*, hal ini sangat berbanding terbalik dengan mahasiswa status lulus yang mengerjakan lebih banyak komponen aktivitas pada LMS.

- c. BPMN Mata Kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang Diajar oleh Dosen Status Tetap dengan Status Lulus pada CLO2 (Nilai lebih dari 50.01)

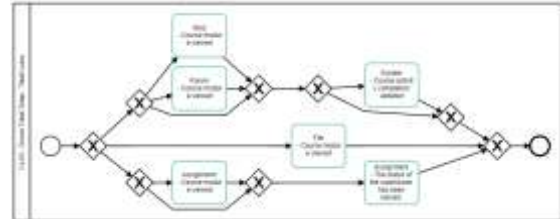


Gambar 8. BPMN Mata Kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang Diajar oleh Dosen Status Tetap untuk Mahasiswa dengan Status Lulus pada CLO2

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa mahasiswa pada mata kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang diajar oleh dosen tetap dengan status lulus pada CLO2 aktif dan dapat melakukan penyelesaian terhadap beberapa komponen aktivitas di LMS selama satu kali pertemuan, mulai dari mengerjakan komponen aktivitas *assignment*, melakukan akses terhadap komponen aktivitas *forum*, melakukan akses terhadap materi pembelajaran berupa *file*,

melakukan pengerjaan *quiz*, serta mengakses komponen aktivitas *H5P*.

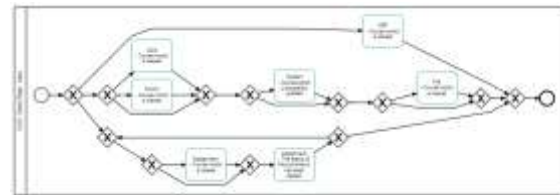
- d. BPMN Mata Kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang Diajar oleh Dosen Status Tidak Tetap dengan Status Tidak Lulus pada CLO2 (Nilai kurang dari 50.01)



Gambar 9. BPMN Mata Kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang Diajar oleh Dosen Status Tidak Tetap untuk Mahasiswa dengan Status Tidak Lulus pada CLO2

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa mahasiswa pada mata kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang diajar oleh dosen tidak tetap dengan status tidak lulus pada CLO2, mahasiswa cukup aktif selama satu kali pertemuan menggunakan LMS, sebagian besar mengerjakan komponen aktivitas *assignment*, mengakses materi pembelajaran berupa *file*, mengakses komponen aktivitas *forum*, sampai mengerjakan *quiz*. Tetapi tidak melakukan akses terhadap komponen aktivitas *H5P* yang ada pada LMS.

- e. BPMN Mata Kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang Diajar oleh Dosen Status Tetap dengan Status Lulus pada CLO3 (Nilai lebih dari 50.01)

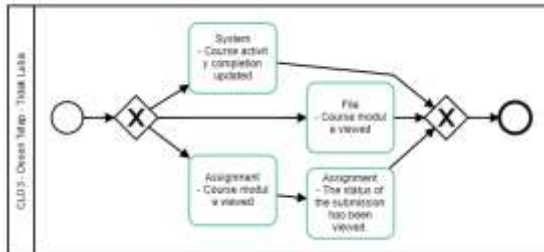


Gambar 10. BPMN Mata Kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang Diajar oleh Dosen Status Tetap untuk Mahasiswa Status Lulus pada CLO3

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa mahasiswa pada mata kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang diajar oleh dosen tetap dengan status lulus pada CLO3 aktif dan dapat melakukan penyelesaian terhadap beberapa komponen aktivitas di LMS selama satu kali pertemuan, mulai dari mengerjakan komponen aktivitas *assignment*, mengakses komponen aktivitas *forum*, mengerjakan *quiz*, mengakses

materi pembelajaran berupa *file*, serta mengakses komponen aktivitas *H5P*.

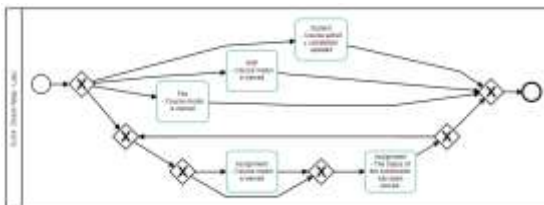
- f. BPMN Mata Kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang Diajar oleh Dosen Status Tetap dengan Status Tidak Lulus pada CLO3 (Nilai kurang dari 50.01)



Gambar 11. BPMN Mata Kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang Diajar oleh Dosen Status Tetap untuk Mahasiswa dengan Status Tidak Lulus pada CLO3

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa mahasiswa pada mata kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang diajar oleh dosen tetap dengan status tidak lulus pada CLO3, cenderung tidak aktif selama satu kali pertemuan menggunakan LMS, aktivitas yang dikerjakan hanya sebatas mengerjakan komponen aktivitas *assignment* dan mengakses materi pembelajaran berupa *file* saja. Tetapi tidak melakukan akses terhadap komponen aktivitas *forum* dan mengerjakan *quiz* yang ada pada LMS. Hal ini berbanding terbalik dengan mahasiswa status lulus yang mengerjakan aktivitas cenderung lebih banyak.

- g. BPMN Mata Kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang Diajar oleh Dosen Status Tetap dengan Status Lulus pada CLO4 (Nilai lebih dari 50.01)

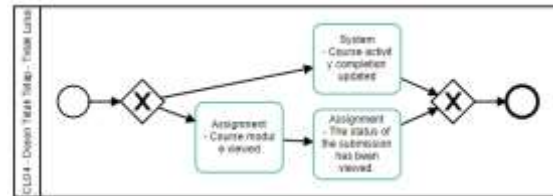


Gambar 12. BPMN Mata Kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang Diajar oleh Dosen Status Tetap untuk Mahasiswa dengan Status Lulus pada CLO4

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa mahasiswa pada mata kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang diajar oleh dosen tetap dengan status lulus pada CLO4, aktif dan dapat melakukan penyelesaian terhadap beberapa komponen aktivitas di LMS selama satu kali pertemuan, mulai dari mengerjakan komponen aktivitas *assignment*, mengakses materi

pembelajaran berupa *file*, hingga mengakses komponen aktivitas *H5P*.

- h. BPMN Mata Kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang Diajar oleh Dosen Status Tidak Tetap dengan Status Tidak Lulus pada CLO4 (Nilai kurang dari 50.01)



Gambar 13. BPMN Mata Kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang Diajar oleh Dosen Status Tidak Tetap untuk Mahasiswa dengan Status Tidak Lulus pada CLO4

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa mahasiswa pada mata kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi yang diajar oleh dosen tidak tetap dengan status tidak lulus pada CLO4, mahasiswa tidak terlalu aktif selama satu kali pertemuan menggunakan LMS, terlihat bahwa aktivitas yang dijalankan hanya sebatas mengerjakan komponen aktivitas *assignment* saja, tetapi tidak melakukan akses terhadap materi pembelajaran berupa *file* dan mengakses komponen aktivitas *forum* yang ada pada LMS. Hal ini berbanding terbalik dengan mahasiswa status lulus yang mengerjakan aktivitas cenderung lebih banyak.

SIMPULAN

Penerapan dari setiap skenario dapat memodelkan *event log* ke dalam model proses dengan baik, disimpulkan bahwa pola pembelajaran yang dihasilkan untuk mata kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi aktivitas yang mempengaruhi tingkat keberhasilan mahasiswa adalah komponen *Assignment*, *Quiz*, *File* dan *H5P*. Perbedaan secara umum untuk mahasiswa yang gagal pada CLO mayoritas terletak pada komponen aktivitas *H5P* yang tidak dijalankan sehingga kurang optimalnya penggunaan LMS. Komponen *H5P* ini merupakan komponen yang cukup penting karena memuat model pembelajaran yang diadakan dengan interaktif. Model proses yang dihasilkan sudah mencerminkan aktivitas yang ditentukan pada RPS, terbukti dengan adanya aktivitas seperti *Assignment* dan *Quiz* untuk setiap CLO nya. Selain itu, hasil *conformance checking* untuk mata kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi, sebagian besar dosen dengan status tetap dominan memiliki model proses pembelajaran dengan ketercapaian dari *learning outcome* yang baik untuk disetiap CLO nya. Sedangkan untuk model proses terbaik yang tidak berhasil mencapai *learning outcome* di mata kuliah Tata Kelola dan Manajemen Teknologi Informasi didominasi oleh dosen dengan

status tidak tetap yang terdapat pada CLO2 dan CLO4. Hal ini dibuktikan dengan mayoritas dari dosen status tetap yang lebih banyak menjalankan komponen aktivitas pada LMS untuk proses perkuliahan dibandingkan dari dosen dengan status tidak tetap.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fakultas Rekayasa Industri, *Buku Kurikulum 2020 Program Studi : SI Sistem Informasi*. Bandung, 2020.
- [2] Telkom University, "Telkom University Laksanakan Perkuliahan Hybrid Blended Learning," May 19, 2022. <https://telkomuniversity.ac.id/telkom-university-laksanakan-perkuliahan-hybrid-blended-learning/> (accessed Nov. 10, 2022).
- [3] Telkom University, "CeLOE LMS," 2018.
- [4] G. Feng, M. Fan, and C. Ao, "Exploration and Visualization of Learning Behavior Patterns From the Perspective of Educational Process Mining," *IEEE Access*, vol. 10. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 65271–65283, 2022. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3184111.
- [5] P. Zerbino, A. Stefanini, and D. Aloini, "Process science in action: A literature review on process mining in business management," *Technol Forecast Soc Change*, vol. 172, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.techfore.2021.121021.
- [6] A. Lamani, B. Erraha, M. Elkyal, and A. Sair, "Data mining techniques application for prediction in OLAP cube," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 9, no. 3, pp. 2094–2102, Jun. 2019, doi: 10.11591/ijece.v9i3.pp2094-2102.
- [7] Celonis, "Celonis," 2023. <https://www.celonis.com/company/> (accessed Jul. 03, 2023).
- [8] L. Dignan, "What is Execution Management?," Jun. 22, 22AD. <https://www.celonis.com/blog/what-is-execution-management/> (accessed Jul. 03, 2023).
- [9] M. Kerremans, K. Iijima, A. R. Sachelarescu, N. Duffy, and D. Sugden, "Magic Quadrant for Process Mining Tools," Mar. 20, 2023. <https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-2CZ18XWU&ct=230320&st=sb> (accessed Jul. 03, 2023).
- [10] E. Fabiola, R. Ledesma, E. Moreno Galván, E. A. Carmona García, and L. I. Garay Jiménez, "Educational Tool for Generation and Analysis of Multidimensional Modeling on Data Warehouse," 2020. [Online]. Available: www.ijacsa.thesai.org
- [11] G. Li, E. G. L. de Murillas, R. M. de Carvalho, and W. M. P. van der Aalst, "Extracting object-centric event logs to support process mining on databases," in *Lecture Notes in Business Information Processing*, Springer Verlag, 2018, pp. 182–199. doi: 10.1007/978-3-319-92901-9_16.
- [12] W. Ahmed, E. Zimányi, A. A. Vaisman, and R. Wrembel, "A Temporal Multidimensional Model and OLAP Operators," *International Journal of Data Warehousing and Mining*, vol. 16, no. 4, pp. 112–143, Oct. 2020, doi: 10.4018/IJDWM.2020100107.
- [13] L. Juhaňák, J. Zounek, and L. Rohlíková, "Using process mining to analyze students' quiz-taking behavior patterns in a learning management system," *Comput Human Behav*, vol. 92, pp. 496–506, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.chb.2017.12.015.
- [14] L. Reinkemeyer Editor, "Process Mining in Action Principles, Use Cases and Outlook."
- [15] N. N. Hasanah and A. S. Purnomo, "Implementasi Data Mining Untuk Pengelompokan Buku Menggunakan Algoritma K-Means Clustering (Studi Kasus : Perpustakaan Politeknik LPP Yogyakarta)," *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*, vol. 4, no. 2, pp. 300–311, Jul. 2022, doi: 10.47233/jteksis.v4i2.499.
- [16] A. F. Ghahfarokhi, A. Berti, and W. M. P. van der Aalst, "Process Comparison Using Object-Centric Process Cubes," Mar. 2021, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2103.07184>
- [17] J. Leprince, C. Miller, and W. Zeiler, "Data mining cubes for buildings, a generic framework for multidimensional analytics of building performance data," *Energy Build*, vol. 248, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111195.
- [18] A. N. Yulianty, R. Andreswari, and D. Witarsyah, "ANALISIS DAN PENERAPAN PROSES MINING TERHADAP EVENT LOG DALAM MENENTUKAN PENILAIAN PEMBELAJARAN HYBRID MENGGUNAKAN ALGORITMA FUZZY MINING (STUDI KASUS E-LEARNING UNIVERSITAS TELKOM)," 2022.
- [19] N. F. Fahrudin, "PROSES MINING UNTUK OPTIMASI PROSES BISNIS," 2020.
- [20] S. Canifah, R. Andreswari, and R. Fauzi, "Analysis of Student Learning Pattern in Learning Management System (LMS) using Heuristic Mining a Process Mining Approach," 2021.
- [21] W. van der Aalst, "Data Requirements — Process Mining Book 3.0," 2022. <https://fluxicon.com/book/read/dataext/> (accessed Jan. 01, 2023).
- [22] W. M. P. van der Aalst, "Object-Centric Process Mining: The next frontier in business performance," 2023.
- [23] U. ÇELİK and E. AKÇETİN, "Process Mining Tools Comparison," *AJIT-e Online Academic Journal of Information Technology*, vol. 9, no. 34, pp. 97–104, Nov. 2018, doi: 10.5824/1309-1581.2018.4.007.x.
- [24] P. Bhatia, "Data Mining and Data Warehousing," 2019.
- [25] W. Hachicha, L. Ghorbel, R. Champagnat, C. A. Zayani, and I. Amous, "Using process mining for learning resource recommendation: A Moodle case study," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2021, pp. 853–862. doi: 10.1016/j.procs.2021.08.088.