



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 1 (2026) pp: 6502-6509

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Sequential Pattern Mining untuk Analisis Navigasi SIAKAD Berbasis Log

Muh. Rafli. R¹, Muhammad Dzaky As'ad², Abdul Ibrahim³, Hasyrif Sy⁴

^{1,2}Program Studi, Sistem Informasi, Universitas Dipa Makassar, Indonesia

³Program Studi, Rekayasa Perangkat Lunak, Universitas Dipa Makassar, Indonesia

⁴Program Studi, Teknik Informatika, Universitas Dipa Makassar, Indonesia

raffir180478@gmail.com, dzakyasad@gmail.com, abdulibrahim@dipanegara.ac.id, hasyrif@undipa.ac.id.

Abstrak

Pemanfaatan data log server Apache untuk analisis perilaku pengguna Sistem Informasi Akademik (SIAKAD) masih terbatas karena belum dioptimalkan secara objektif menggunakan pendekatan data mining. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi pola navigasi pengguna SIAKAD Universitas Dipa Makassar menggunakan Sequential Pattern Mining dengan algoritma PrefixSpan serta visualisasi Network Graph dan Sankey Diagram. Data log Apache periode 8 Desember 2025 hingga 5 Januari 2026 mencakup 873.077 baris yang diproses melalui empat tahapan preprocessing yaitu parsing, filtering, sessionization, dan refinement sehingga menghasilkan 5.922 sequence valid. Penerapan algoritma PrefixSpan dengan minimum support 5% menghasilkan 10.305 pola frequent dalam waktu eksekusi 72,12 detik. Analisis coverage kumulatif menunjukkan bahwa 7.689 pola merepresentasikan 80% perilaku navigasi dominan pengguna sesuai prinsip Pareto. Jalur utama teridentifikasi dari beranda menuju modul pembelajaran dengan frekuensi 1.138.073 transisi. Struktur navigasi teridentifikasi sebagai fully connected dengan 13 node dan 58 edge tanpa ditemukannya dead-end. Evaluasi berdasarkan standar ISO 9241-110 menunjukkan kesesuaian terhadap prinsip suitability for the task dan controllability. Hasil penelitian ini juga menunjukkan konsistensi pola akses antar sesi serta minimnya pengulangan tidak produktif pada setiap alur utama. Temuan ini mengindikasikan bahwa pola navigasi SIAKAD telah terstruktur efisien serta memiliki modularitas fungsional yang baik sebagai dasar optimalisasi antarmuka sistem akademik berbasis data yang berkelanjutan adaptif.

Kata kunci: Sequential Pattern Mining, PrefixSpan, Web Usage Mining, Log Analysis, SIAKAD, Data Visualization.

1. Latar Belakang

Universitas Dipa Makassar menggunakan Sistem Informasi Akademik Kampus (SIAKAD) sebagai infrastruktur digital utama untuk mendukung penyelenggaraan proses akademik, mulai dari akses informasi perkuliahan, jadwal, nilai, transkrip, hingga layanan pembelajaran mahasiswa [1]. Dalam konteks transformasi digital perguruan tinggi, SIAKAD tidak lagi hanya berfungsi sebagai alat administratif, tetapi telah menjadi medium interaksi utama antara mahasiswa, dosen, dan pengelola akademik. Karena itu, kualitas sistem menjadi faktor yang sangat penting, sebab kualitas tersebut berpengaruh langsung terhadap pengalaman penggunaan dan tingkat kepuasan pengguna [2,11]. Sistem yang secara fungsional lengkap belum tentu efektif digunakan apabila alur navigasi, struktur menu, atau pola interaksi pengguna tidak sesuai dengan kebutuhan nyata di lapangan. Salah satu sumber data yang sangat potensial namun belum dimanfaatkan secara optimal untuk memahami perilaku pengguna SIAKAD adalah data log server. Setiap aktivitas pengguna pada sistem web secara otomatis meninggalkan jejak digital dalam log Apache, yang umumnya mencakup informasi seperti alamat IP, timestamp, Uniform Resource Locator (URL) yang diakses, metode HTTP, status code, dan user agent [4]. Berbeda dengan data kuesioner yang merekam persepsi atau pendapat pengguna, data log merekam perilaku aktual pengguna saat berinteraksi dengan sistem. Artinya, log server dapat digunakan untuk melihat bagaimana pengguna benar-benar menavigasi sistem, halaman mana yang paling sering diakses, jalur perpindahan antarmenu, hingga potensi hambatan interaksi yang muncul berulang. Dengan demikian, analisis log memiliki nilai strategis untuk menghasilkan evaluasi yang lebih objektif terhadap kualitas struktur navigasi SIAKAD.

Pada penelitian atau evaluasi sebelumnya, pengukuran kualitas penggunaan SIAKAD UNDIPA telah dilakukan menggunakan pendekatan berbasis persepsi pengguna. Saifullah dan Fauzan [6] melaporkan skor System Usability Scale (SUS) sebesar 63,45 untuk SIAKAD Universitas Dipa Makassar, yang mengindikasikan bahwa sistem masih

memiliki ruang perbaikan, khususnya pada aspek antarmuka dan pengalaman penggunaan. Temuan tersebut penting sebagai indikator awal kondisi usability, namun pendekatan SUS pada dasarnya bertumpu pada penilaian subjektif responden. Meskipun persepsi pengguna sangat berharga, pendekatan ini belum mampu menjelaskan secara rinci pola interaksi nyata yang terjadi pada level operasional sistem, misalnya jalur navigasi dominan, pengulangan akses halaman tertentu, atau keterhubungan antar modul dalam penggunaan sehari-hari. Dengan kata lain, evaluasi subjektif belum sepenuhnya menjawab pertanyaan “bagaimana” pengguna bergerak di dalam sistem. Keterbatasan tersebut menunjukkan adanya kebutuhan untuk melengkapi evaluasi usability berbasis persepsi dengan pendekatan analitik berbasis data perilaku aktual. Dalam ranah Web Usage Mining (WUM), data log web dapat diolah untuk mengekstraksi pola interaksi pengguna yang berulang dan bermakna. Salah satu pendekatan yang relevan adalah Sequential Pattern Mining (SPM), yaitu teknik data mining untuk menemukan urutan kejadian yang sering muncul dalam data sekuensial [13]. Pada konteks SIAKAD, sekuens tersebut dapat berupa urutan halaman yang diakses pengguna dalam satu sesi, misalnya dari halaman login ke beranda, lalu menuju modul jadwal atau pembelajaran. Pola-pola seperti ini penting karena dapat menggambarkan alur penggunaan dominan dan membantu menilai apakah struktur navigasi sudah mendukung tugas utama pengguna secara efisien.

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa SPM efektif digunakan untuk analisis log web dan data sekuensial berskala besar. Mazumdar dan Sarma [2] serta Kasworo et al. [3] menegaskan bahwa teknik sequential pattern mining mampu mengidentifikasi pola akses yang berguna untuk analisis perilaku pengguna dan pengambilan keputusan berbasis data. Di antara berbagai algoritma SPM, PrefixSpan (Prefix-projected Sequential pattern mining) merupakan salah satu algoritma yang banyak digunakan karena pendekatan pattern-growth yang efisien. PrefixSpan bekerja dengan melakukan proyeksi berbasis prefix tanpa perlu membangkitkan kandidat pola secara eksplisit dalam jumlah besar, sehingga lebih hemat komputasi untuk dataset log yang kompleks [7]. Keunggulan ini menjadikan PrefixSpan sesuai untuk analisis log SIAKAD yang memiliki volume data tinggi dan karakteristik urutan akses yang beragam. Meskipun ekstraksi pola sekuensial dapat menghasilkan informasi yang kaya, hasil mining dalam bentuk daftar pola saja sering kali sulit diinterpretasikan oleh pengelola sistem, terutama ketika jumlah pola yang dihasilkan sangat banyak. Oleh karena itu, visualisasi menjadi komponen penting agar pola navigasi dapat dipahami secara lebih intuitif. Dalam penelitian pola sekuens dan jaringan, visualisasi berbasis Network Graph telah digunakan untuk memetakan hubungan antar node (halaman) dan edge (transisi), sehingga struktur konektivitas global sistem dapat terlihat dengan jelas [8,15]. Sementara itu, Sankey Diagram efektif untuk menampilkan aliran perpindahan pengguna antarhalaman dengan ketebalan garis yang merepresentasikan volume transisi, sehingga jalur dominan dapat diidentifikasi secara cepat [9,14]. Kombinasi kedua visualisasi tersebut memberikan nilai tambah karena tidak hanya menunjukkan “apa pola yang sering muncul”, tetapi juga “bagaimana arsitektur navigasi bekerja” dan “ke mana pengguna paling banyak bergerak”.

Selain mengekstraksi dan memvisualisasikan pola, penelitian ini juga memerlukan kerangka evaluasi yang mampu menerjemahkan temuan log menjadi makna ergonomis dan usability yang relevan. Dalam hal ini, ISO 9241-110 menyediakan prinsip interaksi manusia-sistem yang dapat digunakan sebagai dasar interpretasi pola navigasi [10]. Prinsip seperti suitability for the task, controllability, dan conformity with user expectations dapat diadaptasi untuk menilai apakah struktur navigasi SIAKAD sudah mendukung tugas inti pengguna, memberi kendali navigasi yang memadai, dan menunjukkan konsistensi pola penggunaan. Pendekatan ini penting karena data log pada dasarnya merekam perilaku, bukan persepsi; sehingga diperlukan kerangka konseptual agar hasil analisis pola dapat dikaitkan dengan kualitas interaksi sistem secara lebih sistematis. Berdasarkan uraian tersebut, terlihat adanya kesenjangan penelitian pada konteks SIAKAD Universitas Dipa Makassar. Di satu sisi, evaluasi berbasis persepsi pengguna telah memberikan indikasi bahwa sistem masih memerlukan perbaikan [6]. Di sisi lain, belum terdapat penelitian yang secara spesifik memanfaatkan data log Apache SIAKAD untuk mengekstraksi pola navigasi aktual menggunakan Sequential Pattern Mining, khususnya dengan algoritma PrefixSpan. Ketiadaan analisis objektif berbasis log menyebabkan proses evaluasi dan perbaikan antarmuka berpotensi kurang tepat sasaran, karena belum didukung pemahaman empiris mengenai perilaku navigasi pengguna yang sesungguhnya. Padahal, data log menyimpan informasi yang sangat berharga untuk mengidentifikasi halaman kunci, jalur akses dominan, serta struktur konektivitas sistem secara menyeluruh.

Penelitian ini hadir untuk menjawab kesenjangan tersebut dengan menganalisis pola navigasi pengguna SIAKAD Universitas Dipa Makassar melalui pendekatan Sequential Pattern Mining menggunakan algoritma PrefixSpan, yang kemudian divisualisasikan dengan Network Graph dan Sankey Diagram, serta diinterpretasikan menggunakan prinsip-prinsip ISO 9241-110 [2,7–10]. Pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan gambaran yang lebih objektif, terukur, dan aplikatif mengenai perilaku penggunaan SIAKAD, sehingga rekomendasi perbaikan yang dihasilkan tidak hanya bertumpu pada persepsi pengguna, tetapi juga pada bukti perilaku nyata yang terekam dalam sistem. Secara lebih khusus, kontribusi penelitian ini adalah: (1) menyediakan ekstraksi pola

navigasi objektif dari data log SIAKAD sebagai dasar evaluasi berbasis perilaku; (2) memvalidasi struktur navigasi sistem melalui interpretasi prinsip interaksi ISO 9241-110; dan (3) menyajikan visualisasi pola navigasi yang memudahkan pengelola sistem dalam mengidentifikasi jalur dominan, titik penting, dan peluang optimalisasi antarmuka. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi akademik pada penerapan SPM di lingkungan sistem informasi akademik, tetapi juga kontribusi praktis bagi pengembangan SIAKAD yang lebih efisien, mudah digunakan, dan berorientasi pada kebutuhan pengguna. Universitas Dipa Makassar menggunakan Sistem Informasi Akademik Kampus (SIAKAD) sebagai infrastruktur digital utama untuk mendukung penyelenggaraan proses akademik, mulai dari akses informasi perkuliahan, jadwal, nilai, transkrip, hingga layanan pembelajaran mahasiswa [1].

Dalam konteks transformasi digital perguruan tinggi, SIAKAD tidak lagi hanya berfungsi sebagai alat administratif, tetapi telah menjadi medium interaksi utama antara mahasiswa, dosen, dan pengelola akademik. Karena itu, kualitas sistem menjadi faktor yang sangat penting, sebab kualitas tersebut berpengaruh langsung terhadap pengalaman penggunaan dan tingkat kepuasan pengguna [2,11]. Sistem yang secara fungsional lengkap belum tentu efektif digunakan apabila alur navigasi, struktur menu, atau pola interaksi pengguna tidak sesuai dengan kebutuhan nyata di lapangan. Salah satu sumber data yang sangat potensial namun belum dimanfaatkan secara optimal untuk memahami perilaku pengguna SIAKAD adalah data log server. Setiap aktivitas pengguna pada sistem web secara otomatis meninggalkan jejak digital dalam log Apache, yang umumnya mencakup informasi seperti alamat IP, timestamp, Uniform Resource Locator (URL) yang diakses, metode HTTP, status code, dan user agent [4]. Berbeda dengan data kuesioner yang merekam persepsi atau pendapat pengguna, data log merekam perilaku aktual pengguna saat berinteraksi dengan sistem. Artinya, log server dapat digunakan untuk melihat bagaimana pengguna benar-benar menavigasi sistem, halaman mana yang paling sering diakses, jalur perpindahan antarmenu, hingga potensi hambatan interaksi yang muncul berulang. Dengan demikian, analisis log memiliki nilai strategis untuk menghasilkan evaluasi yang lebih objektif terhadap kualitas struktur navigasi SIAKAD.

Pada penelitian atau evaluasi sebelumnya, pengukuran kualitas penggunaan SIAKAD UNDIPA telah dilakukan menggunakan pendekatan berbasis persepsi pengguna. Saifullah dan Fauzan [6] melaporkan skor System Usability Scale (SUS) sebesar 63,45 untuk SIAKAD Universitas Dipa Makassar, yang mengindikasikan bahwa sistem masih memiliki ruang perbaikan, khususnya pada aspek antarmuka dan pengalaman penggunaan. Temuan tersebut penting sebagai indikator awal kondisi usability, namun pendekatan SUS pada dasarnya bertumpu pada penilaian subjektif responden. Meskipun persepsi pengguna sangat berharga, pendekatan ini belum mampu menjelaskan secara rinci pola interaksi nyata yang terjadi pada level operasional sistem, misalnya jalur navigasi dominan, pengulangan akses halaman tertentu, atau keterhubungan antar modul dalam penggunaan sehari-hari. Dengan kata lain, evaluasi subjektif belum sepenuhnya menjawab pertanyaan “bagaimana” pengguna bergerak di dalam sistem. Keterbatasan tersebut menunjukkan adanya kebutuhan untuk melengkapi evaluasi usability berbasis persepsi dengan pendekatan analitik berbasis data perilaku aktual. Dalam ranah Web Usage Mining (WUM), data log web dapat diolah untuk mengekstraksi pola interaksi pengguna yang berulang dan bermakna. Salah satu pendekatan yang relevan adalah Sequential Pattern Mining (SPM), yaitu teknik data mining untuk menemukan urutan kejadian yang sering muncul dalam data sekuensial [13]. Pada konteks SIAKAD, sekuens tersebut dapat berupa urutan halaman yang diakses pengguna dalam satu sesi, misalnya dari halaman login ke beranda, lalu menuju modul jadwal atau pembelajaran. Pola-pola seperti ini penting karena dapat menggambarkan alur penggunaan dominan dan membantu menilai apakah struktur navigasi sudah mendukung tugas utama pengguna secara efisien.

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa SPM efektif digunakan untuk analisis log web dan data sekuensial berskala besar. Mazumdar dan Sarma [2] serta Kasworo et al. [3] menegaskan bahwa teknik sequential pattern mining mampu mengidentifikasi pola akses yang berguna untuk analisis perilaku pengguna dan pengambilan keputusan berbasis data. Di antara berbagai algoritma SPM, PrefixSpan (Prefix-projected Sequential pattern mining) merupakan salah satu algoritma yang banyak digunakan karena pendekatan pattern-growth yang efisien. PrefixSpan bekerja dengan melakukan proyeksi berbasis prefix tanpa perlu membangkitkan kandidat pola secara eksplisit dalam jumlah besar, sehingga lebih hemat komputasi untuk dataset log yang kompleks [7]. Keunggulan ini menjadikan PrefixSpan sesuai untuk analisis log SIAKAD yang memiliki volume data tinggi dan karakteristik urutan akses yang beragam. Meskipun ekstraksi pola sekuensial dapat menghasilkan informasi yang kaya, hasil mining dalam bentuk daftar pola saja sering kali sulit diinterpretasikan oleh pengelola sistem, terutama ketika jumlah pola yang dihasilkan sangat banyak. Oleh karena itu, visualisasi menjadi komponen penting agar pola navigasi dapat dipahami secara lebih intuitif. Dalam penelitian pola sekuens dan jaringan, visualisasi berbasis Network Graph telah digunakan untuk memetakan hubungan antar node (halaman) dan edge (transisi), sehingga struktur konektivitas global sistem dapat terlihat dengan jelas [8,15]. Sementara itu, Sankey Diagram efektif untuk

menampilkan aliran perpindahan pengguna antarhalaman dengan ketebalan garis yang merepresentasikan volume transisi, sehingga jalur dominan dapat diidentifikasi secara cepat [9,14]. Kombinasi kedua visualisasi tersebut memberikan nilai tambah karena tidak hanya menunjukkan “apa pola yang sering muncul”, tetapi juga “bagaimana arsitektur navigasi bekerja” dan “ke mana pengguna paling banyak bergerak”.

Selain mengekstraksi dan memvisualisasikan pola, penelitian ini juga memerlukan kerangka evaluasi yang mampu menerjemahkan temuan log menjadi makna ergonomis dan usability yang relevan. Dalam hal ini, ISO 9241-110 menyediakan prinsip interaksi manusia-sistem yang dapat digunakan sebagai dasar interpretasi pola navigasi [10]. Prinsip seperti suitability for the task, controllability, dan conformity with user expectations dapat diadaptasi untuk menilai apakah struktur navigasi SIAKAD sudah mendukung tugas inti pengguna, memberi kendali navigasi yang memadai, dan menunjukkan konsistensi pola penggunaan. Pendekatan ini penting karena data log pada dasarnya merekam perilaku, bukan persepsi; sehingga diperlukan kerangka konseptual agar hasil analisis pola dapat dikaitkan dengan kualitas interaksi sistem secara lebih sistematis. Berdasarkan uraian tersebut, terlihat adanya kesenjangan penelitian pada konteks SIAKAD Universitas Dipa Makassar. Di satu sisi, evaluasi berbasis persepsi pengguna telah memberikan indikasi bahwa sistem masih memerlukan perbaikan [6]. Di sisi lain, belum terdapat penelitian yang secara spesifik memanfaatkan data log Apache SIAKAD untuk mengekstraksi pola navigasi aktual menggunakan Sequential Pattern Mining, khususnya dengan algoritma PrefixSpan. Ketidadaan analisis objektif berbasis log menyebabkan proses evaluasi dan perbaikan antarmuka berpotensi kurang tepat sasaran, karena belum didukung pemahaman empiris mengenai perilaku navigasi pengguna yang sesungguhnya. Padahal, data log menyimpan informasi yang sangat berharga untuk mengidentifikasi halaman kunci, jalur akses dominan, serta struktur konektivitas sistem secara menyeluruh.

Penelitian ini hadir untuk menjawab kesenjangan tersebut dengan menganalisis pola navigasi pengguna SIAKAD Universitas Dipa Makassar melalui pendekatan Sequential Pattern Mining menggunakan algoritma PrefixSpan, yang kemudian divisualisasikan dengan Network Graph dan Sankey Diagram, serta diinterpretasikan menggunakan prinsip-prinsip ISO 9241-110 [2,7–10]. Pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan gambaran yang lebih objektif, terukur, dan aplikatif mengenai perilaku penggunaan SIAKAD, sehingga rekomendasi perbaikan yang dihasilkan tidak hanya bertumpu pada persepsi pengguna, tetapi juga pada bukti perilaku nyata yang terekam dalam sistem. Secara lebih khusus, kontribusi penelitian ini adalah: (1) menyediakan ekstraksi pola navigasi objektif dari data log SIAKAD sebagai dasar evaluasi berbasis perilaku; (2) memvalidasi struktur navigasi sistem melalui interpretasi prinsip interaksi ISO 9241-110; dan (3) menyajikan visualisasi pola navigasi yang memudahkan pengelola sistem dalam mengidentifikasi jalur dominan, titik penting, dan peluang optimalisasi antarmuka. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi akademik pada penerapan SPM di lingkungan sistem informasi akademik, tetapi juga kontribusi praktis bagi pengembangan SIAKAD yang lebih efisien, mudah digunakan, dan berorientasi pada kebutuhan pengguna.

2. Metode Penelitian

Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan analisis data log Apache SIAKAD Universitas Dipa Makassar. Data log mencakup periode 8 Desember 2025–5 Januari 2026 dengan format Combined Log Format. Preprocessing dilakukan dalam empat tahap: parsing menggunakan regular expression untuk ekstraksi field; filtering metode HTTP GET dengan penghapusan resource statis dan bot berdasarkan user agent; sessionization menggunakan kombinasi IP address dan user agent dengan timeout 30 menit; serta refinement menghapus duplikasi berturut-tan dan sesi single-request [2,3].

2.1. Dataset dan Preprocessing

Data log Apache mencatat enam variabel: IP address, timestamp, URL, metode HTTP, status code, dan user agent. Kriteria filtering: mempertahankan metode HTTP GET, menghapus resource statis (gambar, CSS, JS), dan mengeliminasi bot berdasarkan pola user agent. Sessionization menggunakan pendekatan time-oriented dengan kombinasi IP dan user agent serta threshold timeout 30 menit untuk membentuk sesi pengguna. Refinement dilakukan untuk membersihkan sequence dari duplikasi berturut-tan dan menghapus sesi dengan single-request. Output preprocessing adalah sequence database yang siap untuk analisis pola.

2.2. Sequential Pattern Mining

Algoritma PrefixSpan diterapkan dengan pendekatan pattern-growth melalui mekanisme prefix-projection [7]. Variasi parameter minimum support diuji pada rentang 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% untuk identifikasi konfigurasi optimal berdasarkan trade-off antara kelengkapan pola dan efisiensi komputasi. Evaluasi kualitas output menggunakan analisis coverage kumulatif dengan threshold 80% untuk menentukan subset pola yang representatif [12]. Frekuensi kemunculan pola dihitung menggunakan persamaan

$$Support(\alpha) = \left(\frac{N_\alpha}{N} \right) \times 100\% \quad (1)$$

dengan α merepresentasikan pola sekuensial, N_α adalah jumlah sequence yang mengandung pola α , dan N adalah total sequence dalam database.

2.3. Visualisasi dan Evaluasi

Network Graph dibangun dengan node merepresentasikan halaman dan edge merepresentasikan transisi antar halaman. Ukuran node proporsional dengan degree dan ketebalan edge proporsional dengan frekuensi transisi untuk mengidentifikasi struktur konektivitas global [8]. Sankey Diagram menampilkan aliran navigasi dengan ketebalan link merepresentasikan volume transisi setelah filtering transisi /login dan self-loop [9]. Evaluasi menggunakan tiga prinsip ISO 9241-110: suitability for the task berdasarkan panjang jalur menuju fitur inti; controllability berdasarkan keberadaan dead-end dan multiple pathways; serta conformity with user expectations berdasarkan stabilitas pola pada variasi parameter [10].

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian didasarkan pada urutan logis untuk membentuk sebuah cerita. Isinya menunjukkan fakta/data. Dapat menggunakan Tabel dan Angka tetapi tidak mengulangi data yang sama dalam gambar, tabel, dan teks. Untuk lebih memperjelas deskripsi, dapat menggunakan subtitle.

Diskusi adalah penjelasan dasar, hubungan, dan generalisasi yang ditunjukkan oleh hasilnya. Deskripsi menjawab pertanyaan penelitian. Jika ada hasil yang meragukan, tunjukkan secara objektif.

3.1. Hasil dan Processing

Dari 873.077 baris log mentah, tahapan preprocessing menghasilkan 610.140 record setelah filtering, 10.259 sesi setelah sessionization, dan 5.922 sequence valid setelah refinement (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil Tahapan Processing

No	Tahapan	Input	Output	Kriteria Utama & Keterangan
1	Parsing	873.077 baris log	873.077 record	Ekstraksi atribut dasar: IP, timestamp, URL, method, status, dan user agent.
2	Filtering	873.077 record	610.140 record	Pembersihan data: Hanya mengambil HTTP GET, menghapus <i>static resources</i> (css, js, jpg), dan membuang <i>bot/crawler</i> .
3	Sessionization	610.140 record	10.259 sesi	Pengelompokan berdasarkan kombinasi IP + User Agent dengan ambang batas <i>timeout</i> 30 menit.
4	Refinement	10.259 sesi	5.922 sequence	Tahap akhir: Penghapusan permintaan berulang (duplikasi) dan eliminasi sesi tunggal (<i>single-request</i>) yang tidak memiliki pola navigasi.

3.2. Hasil Pattern Mining

Pengujian parameter PrefixSpan menunjukkan minimum support 5% (296 sequence) sebagai konfigurasi optimal dengan 10.305 pola frequent dan waktu eksekusi 72,12 detik. Peningkatan minimum support ke 10% mengurangi jumlah pola menjadi 547 dengan waktu eksekusi 5,03 detik (Tabel 2).

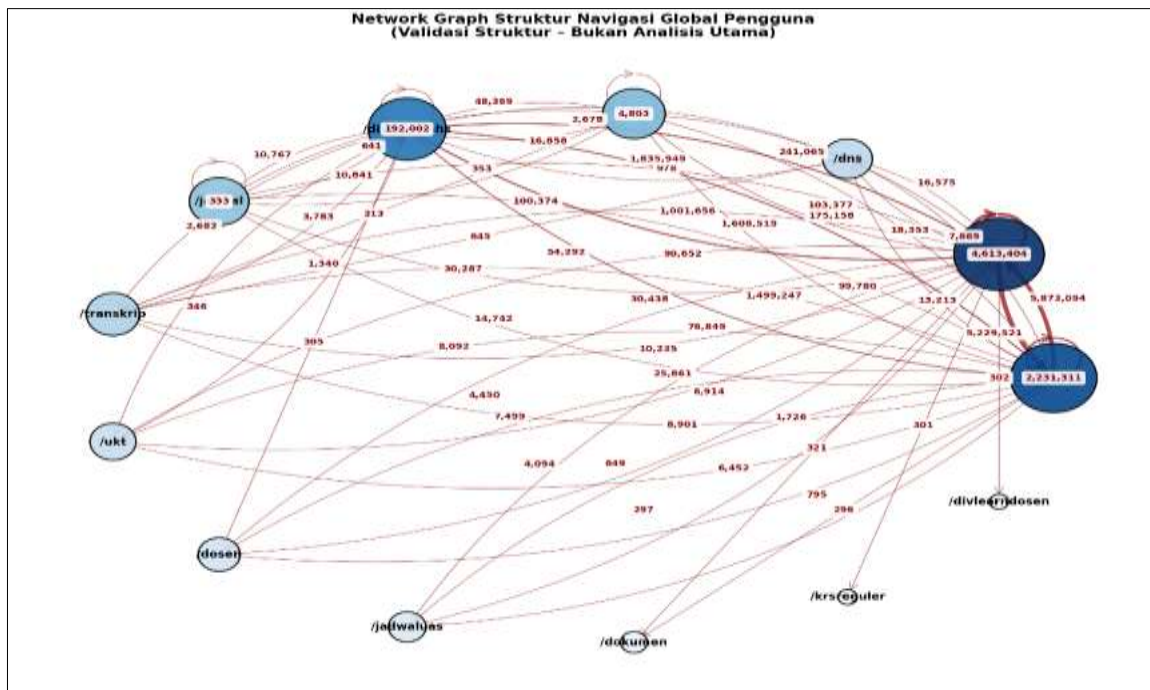
Tabel 2. Hasil Pengujian Parameter Prefixspan

Min. Support (%)	Min. Support (Count)	Jumlah Pola yang Ditemukan	Waktu Eksekusi (Detik)
5%	296	10.305	72,12
10%	592	547	5,03
15%	888	140	2,4
20%	1.184	58	1,07
25%	1.480	33	0,48

Analisis coverage kumulatif menunjukkan 7.689 pola (74,52% dari total pola) merepresentasikan 80% perilaku navigasi pengguna. Kurva coverage menunjukkan fase pertumbuhan cepat pada 0–2.000 pola, melambat gradual, dan mendekati saturasi di atas 8.000 pola.

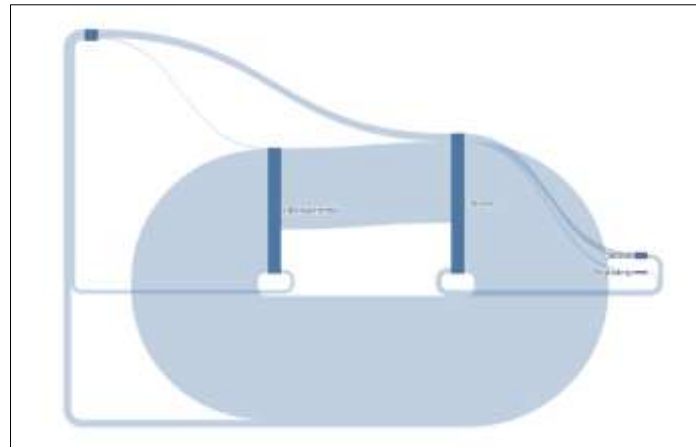
3.3. Visualisasi Pola Navigasi

Network Graph menunjukkan struktur navigasi SIAKAD sebagai sistem fully connected dengan 13 node dan 58 edge tanpa dead-end (Gambar 1). Halaman /login dan /home memiliki degree tertinggi sebagai pusat konektivitas, mengindikasikan peran krusial proses autentikasi dan beranda dalam arsitektur sistem.



Gambar 1. Visualisasi Network Graph Struktur Navigasi SIAKAD

Sankey Diagram mengidentifikasi jalur navigasi dominan pada modul pembelajaran. Jalur /home → /divlearnmhs mencatat frekuensi tertinggi sebesar 1.138.073 transisi (50,35% dari total transisi terfilter), diikuti oleh jalur /home → /jadwal (241.073 transisi) dan /home → /transkrip (191.087 transisi) (Gambar 2). Dominasi jalur menuju modul pembelajaran mengkonfirmasi kesesuaian struktur navigasi dengan fungsi inti sistem akademik.



Gambar 2. Visualisasi Sankey Diagram Aliran Navigasi Dominan

3.4. Evaluasi ISO 9241-110 dan Diskusi

Tiga prinsip ISO 9241-110 terpenuhi berdasarkan pola navigasi yang teridentifikasi. Prinsip suitability for the task terpenuhi melalui dominasi jalur `/home` → `/divlearnmhs` yang memungkinkan pengguna mencapai modul pembelajaran dalam satu langkah. Prinsip controllability tervalidasi melalui struktur fully connected tanpa dead-end dengan 58 edge menghubungkan 13 node. Prinsip conformity with user expectations terindikasi melalui stabilitas pola dominan pada seluruh variasi parameter minimum support.

Dominasi modul `/divlearnmhs` mengkonfirmasi kesesuaian arsitektur SIAKAD dengan fungsi inti sistem akademik. Diskrepansi antara hasil ini dan penelitian usability sebelumnya (SUS 63,45) mengindikasikan permasalahan usability bersifat non-struktural, kemungkinan dipengaruhi faktor performa sistem atau estetika antarmuka yang tidak terekam dalam pola navigasi log

4. Kesimpulan

Pola navigasi SIAKAD Universitas Dipa Makassar terstruktur efisien dengan modularitas fungsional yang baik. Sequential Pattern Mining menggunakan algoritma PrefixSpan berhasil mengekstraksi 10.305 pola dari 5.922 sequence, dengan 7.689 pola (80% coverage) merepresentasikan perilaku dominan pengguna. Jalur `/home` → `/divlearnmhs` sebagai alur utama dengan 1.138.073 transisi menunjukkan kesesuaian dengan prinsip suitability for the task ISO 9241-110. Struktur fully connected tanpa dead-end memenuhi prinsip controllability. Rekomendasi praktis meliputi optimalisasi resource server untuk modul `/divlearnmhs` mengingat trafik dominan, implementasi session cookie untuk akurasi identifikasi sesi, serta studi longitudinal dengan periode lebih panjang untuk menganalisis variasi pola pada fase akademik berbeda.

Referensi

1. M. Saifullah and H. N. Fauzan, "Analisis kepuasan mahasiswa terhadap penggunaan SIAKA Universitas Dipa Makassar dengan metode System Usability Scale dan Technology Acceptance Model," Skripsi, Program Studi Sistem Informasi, Universitas Dipa Makassar, Makassar, Indonesia, 2025.
2. D. Daniel and K. West-Mitchell, "The Sankey diagram: An exploratory application of a data visualization tool," *Transfusion*, vol. 64, no. 6, pp. 967-968, 2024. <https://doi.org/10.1111/trf.17803>
3. ISO, "ISO 9241-110:2020 Ergonomics of human-system interaction — Part 110: Interaction principles," International Organization for Standardization, 2020. <https://www.iso.org/standard/83100.html>
4. J. Abbas, "HEISQUAL: A modern approach to measure service quality in higher education institutions," *Studies in Educational Evaluation*, vol. 67, 100933, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2020.100933>
5. J. Pei et al., "Mining sequential patterns by pattern-growth: The PrefixSpan approach," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 16, no. 11, pp. 1424-1440, 2004. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2004.77>
6. J. Zhu, S. He, P. He, J. Liu, and M. R. Lyu, "Loghub: A large collection of system log datasets for AI-driven log analytics," in *Proc. 2023 IEEE 34th Int. Symp. Software Reliability Engineering (ISSRE)*, 2023, pp. 355-366. <https://doi.org/10.1109/ISSRE59848.2023.00071>
7. K. Vrotsou and A. Nordman, "Exploratory visual sequence mining based on pattern-growth," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 25, no. 8, pp. 2597-2610, 2019. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2848247>
8. L. Bántay and J. Abonyi, "Network-based visualisation of frequent sequences," *PLoS ONE*, vol. 19, no. 5, e0301262, 2024. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0301262>

9. L. Meilania, A. I. Suroso, and L. N. Yuliati, "Evaluasi keberhasilan sistem informasi akademik dengan pendekatan model DeLone dan McLean," *Jurnal Sistem Informasi Bisnis*, vol. 10, no. 2, pp. 137-144, 2020. <https://doi.org/10.21456/vol10iss2pp137-144>
10. N. Mazumdar and P. K. D. Sarma, "Sequential pattern mining algorithms and their applications: a technical review," *International Journal of Data Science and Analytics*, vol. 20, pp. 1683-1726, 2024. <https://doi.org/10.1007/s41060-024-00593-4>
11. P. Fournier-Viger, J. C.-W. Lin, B. Vo, T. T. Chi, R. Nkambou, and V. S. Tseng, "A survey of sequential pattern mining," *Data Science and Pattern Recognition*, vol. 1, no. 1, pp. 1-26, 2017. <https://doi.org/10.36432/2017.1.1>
12. R. Kasworo, K. Adi, and K. B. Aryasa, "A data-driven replication strategy for IT product marketing in SMEs using Apriori, PrefixSpan, and CloSpan algorithms," *SISFORMA*, vol. 12, no. 2, pp. 167-176, 2024. <https://doi.org/10.33019/sisforma.v12i2.567>
13. V. Filipov, A. Arleo, M. Bögl, and S. Miksch, "Are we there yet? A roadmap of network visualization from surveys to task taxonomies," *Computer Graphics Forum*, vol. 42, no. 3, pp. 473-503, 2023. <https://doi.org/10.1111/cgf.14794>
14. W. Gan, J. C.-W. Lin, P. Fournier-Viger, H.-C. Chao, and P. S. Yu, "A survey of utility-oriented pattern mining," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 33, no. 4, pp. 1306-1327, 2021. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2019.2942594>
15. Y. Lv et al., "Traffic flow prediction with big data: A deep learning approach," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 16, no. 2, pp. 865-873, 2021. <https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2345663>