

Layer Peel Streamgraph: Mekanisme Penguraian Spasial Interaktif untuk Memitigasi Ilusi Sinus pada Deret Waktu Multivariat

Muhammad Luqmanul Hakim¹, Zainal Abidin²

^{1,2}Teknik Informatika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim

¹luq.elha@gmail.com ²zainal@ti.uin-malang.ac.id

Abstract

This paper presents an interactive streamgraph visualization system designed to explore university admission competition data from Indonesia's national selection exam (SNBT) for computer science disciplines across ten leading universities from 2021 to 2025. To address the inherent limitations of standard streamgraphs, which are susceptible to geometric distortion and the Sine Illusion, this study proposes the Layer Peel mechanism an interactive disentanglement technique that spatially isolates a selected data layer from the main stack. This contextual separation transforms the macro-level overview into a micro-level detail panel with a stable orthogonal baseline, without sacrificing the global visual context. The system is implemented using HTML5 Canvas, Catmull-Rom spline interpolation, and inside-out ordering. Empirical evaluation demonstrates that the Layer Peel mechanism successfully reveals anomalous spikes in competition ratios that were previously obscured in the main stack. Testing with 15 respondents yielded a System Usability Scale (SUS) score of 70.83 (Good category) and confirmed the system's effectiveness in significantly reducing cognitive load. These findings prove that the Layer Peel mechanism effectively bridges exploratory visualization and analytical precision within a focus+context framework.

Keywords: focus+context, interactive visualization, layer peel, sine illusion, streamgraph

Abstrak

Makalah ini menyajikan sistem visualisasi streamgraph interaktif yang dirancang untuk mengeksplorasi data kompetisi penerimaan mahasiswa baru pada seleksi nasional berbasis tes (SNBT) untuk rumpun ilmu komputer di sepuluh universitas terkemuka Indonesia periode 2021–2025. Untuk mengatasi keterbatasan streamgraph standar yang rentan terhadap distorsi geometri dan *Sine Illusion*, penelitian ini mengusulkan mekanisme *Layer Peel*, yaitu teknik *interactive disentanglement* yang mengisolasi secara spasial layer data terpilih dari tumpukan utama. Pemisahan kontekstual ini mentransformasikan tampilan makro menjadi panel detail mikro dengan *baseline* ortogonal yang stabil, tanpa mengorbankan konteks visual tumpukan global. Sistem diimplementasikan menggunakan HTML5 Canvas, algoritma interpolasi *Catmull-Rom spline*, dan pengurutan *inside-out*. Evaluasi empiris menunjukkan bahwa *Layer Peel* terbukti mampu menyingkap pola anomali lonjakan rasio kompetisi yang sebelumnya terdistorsi pada tumpukan utama. Pengujian terhadap 15 responden menghasilkan nilai *System Usability Scale* (SUS) sebesar 70,83 (kategori baik) dan mengonfirmasi efektivitas sistem dalam mereduksi beban kognitif secara signifikan. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa mekanisme *Layer Peel* secara efektif menjembatani visualisasi eksploratif dan presisi analitis dalam kerangka *focus+context*.

Kata kunci: fokus+konteks, grafik aliran, ilusi sinus, pengelupasan lapisan, visualisasi interaktif

© 2026 Author
Creative Commons Attribution 4.0 International License



1. Pendahuluan

Seleksi Nasional Berbasis Tes (SNBT) merupakan mekanisme utama penerimaan mahasiswa baru di perguruan tinggi negeri Indonesia yang diselenggarakan secara nasional oleh Seleksi Nasional Penerimaan Mahasiswa Baru (SNPMB). Setiap tahunnya, ratusan ribu calon mahasiswa bersaing memperebutkan sejumlah terbatas kursi pada program studi pilihan mereka. Di antara berbagai rumpun ilmu, program studi berbasis ilmu komputer, informatika, teknologi informasi, dan sains data mencatat pertumbuhan peminat yang paling pesat dan konsisten, seiring meningkatnya kebutuhan industri teknologi serta kesadaran masyarakat terhadap prospek karier di bidang ini [16].

Data kompetisi SNBT bersifat multivariat dan berbasis waktu, mencakup variabel peminat, daya tampung, rasio penerimaan, serta pertumbuhan year-over-year untuk puluhan program studi di sepuluh universitas terkemuka selama rentang enam tahun (2021–2025). Volume dan kompleksitas data ini menimbulkan tantangan signifikan dalam representasi visual: bagaimana menyajikan dinamika antar-universitas secara komparatif sekaligus memungkinkan penelusuran tren temporal yang presisi untuk setiap institusi secara individual.

Dalam evolusi visualisasi data time-series multivariat, terdapat trajektori perkembangan yang jelas dari line chart konvensional menuju stacked area chart, themeriver, dan akhirnya menuju streamgraph. Line chart unggul dalam menampilkan tren individual secara akurat karena otak manusia sangat terlatih membaca posisi relatif terhadap baseline yang stabil, sebagaimana dibuktikan secara eksperimental oleh Cleveland dan McGill [2]. Namun, line chart kehilangan kemampuannya untuk menampilkan proporsi dan distribusi agregat secara visual ketika jumlah seri data bertambah. Stacked area chart mengatasi hal ini tetapi memperkenalkan bias baseline bagi layer-layer yang tidak berada di dasar tumpukan.

Streamgraph, yang diperkenalkan secara formal oleh Byron dan Wattenberg [1] melalui konsep inside-out ordering dan optimalisasi geometris untuk meminimalkan wiggle, merupakan pengembangan dari konsep ThemeRiver oleh Havre et al. [3] yang menawarkan keunggulan estetis signifikan untuk visualisasi tren makro. Berbeda dengan ThemeRiver yang memaksakan kesimetrisan, streamgraph menggunakan algoritma penempatan baseline yang dinamis dan asimetris untuk mendistribusikan lapisan ke kedua sisi. Hal ini menghasilkan tampilan organik yang minim distorsi, sehingga lebih intuitif untuk membandingkan distribusi dan pergeseran dominansi antar entitas seiring waktu.

Namun demikian, penelitian Bu et al. [12] mengidentifikasi bahwa bentuk organik streamgraph memicu apa yang disebut Sine Illusion, yaitu kecenderungan otak manusia untuk menilai lebar suatu pita (band) sebagai lebih sempit atau lebih lebar dari yang sebenarnya ketika diukur secara tegak lurus terhadap kurva yang miring. Fenomena ini menyebabkan misinterpretasi sistematis terhadap nilai absolut, terutama pada layer yang berada jauh dari baseline tengah. Lebih lanjut, Javed et al. [4] menunjukkan melalui eksperimen persepsi terkontrol bahwa pengguna mengalami kesulitan membaca nilai kuantitatif yang presisi dari stacked graph dibandingkan line chart, meskipun streamgraph lebih unggul untuk tugas-tugas perbandingan tren global.

Temuan Heer dan Bostock [6] yang memvalidasi ulang eksperimen Cleveland dan McGill pada platform digital modern mengonfirmasi bahwa hierarki akurasi persepsi visual tetap berlaku pada antarmuka berbasis web: posisi pada skala sejajar memberikan akurasi terbaik, jauh melampaui penilaian luas area. Kondisi ini menciptakan research gap yang fundamental: tersedia dua paradigma visualisasi dengan kekuatan yang saling komplementer namun tidak dapat diperoleh secara bersamaan dalam satu representasi statis.

Penelitian ini mengajukan solusi terhadap gap tersebut melalui pengembangan mekanisme interaktif bernama Layer Peel, yang diimplementasikan dalam sistem visualisasi streamgraph berbasis web. Layer Peel merupakan bentuk interactive disentangle visualization, yaitu suatu mekanisme di mana pengguna dapat secara aktif memisahkan satu layer dari tumpukan utama dan menyajikannya dalam representasi visual yang berbeda namun tetap kontekstual. Berbeda dengan teknik highlight atau opacity-based focus yang hanya memodifikasi atribut visual tanpa mengubah geometri, Layer Peel melakukan pemisahan spasial (spatial separation) layer terpilih, membentuk baseline baru yang stabil, dan secara bersamaan mempertahankan streamgraph utama sebagai konteks global.

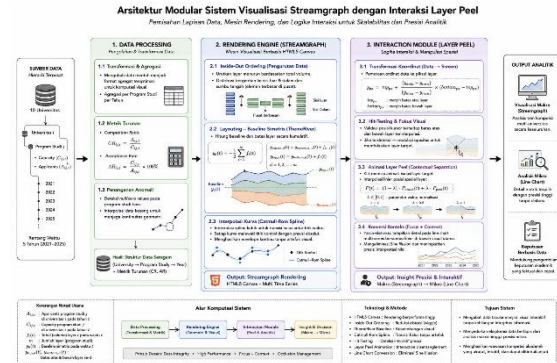
Kondisi ini menciptakan *research gap* yang fundamental: tersedia dua paradigma visualisasi dengan kekuatan yang saling komplementer namun tidak dapat diperoleh secara bersamaan dalam satu representasi statis. Meskipun teknik interaksi konvensional seperti *highlighting* atau *opacity-based focus* sering diterapkan, metode tersebut terbukti gagal mengatasi distorsi geometri fundamental dari *streamgraph* karena orientasi *baseline* penggunaannya tetap melengkung. Penelitian ini mengajukan solusi komprehensif terhadap *gap* tersebut melalui pengembangan mekanisme interaktif bernama Layer Peel, yang diimplementasikan dalam sistem visualisasi

streamgraph berbasis web. Layer Peel merupakan bentuk *interactive disentangle visualization*, yaitu suatu mekanisme di mana pengguna dapat secara aktif memisahkan satu layer dari tumpukan utama dan menyajikannya dalam representasi visual yang berbeda namun tetap kontekstual. Berbeda dengan teknik sebelumnya yang hanya memodifikasi atribut visual tanpa mengubah geometri, Layer Peel melakukan pemisahan spasial (*spatial separation*) layer terpilih, membentuk *baseline* baru yang stabil dan ortogonal, serta secara bersamaan mempertahankan *streamgraph* utama sebagai konteks global guna mencegah disorientasi kognitif saat eksplorasi. Konsep ini berakar pada kerangka *focus+context visualization* yang didokumentasikan oleh Kincaid dan Lam [9] serta prinsip *interactive dynamics* yang dikatalogisasi oleh Heer dan Shneiderman [7]. Selain itu, Layer Peel secara inheren mengimplementasikan strategi perbandingan visual yang dibahas oleh Gleicher et al. [8], di mana transisi dinamis dari representasi makro (*streamgraph*) ke representasi individual (*line chart*) menciptakan kondisi analisis yang lebih presisi tanpa kehilangan referensi komparatif.

Tujuan penelitian ini adalah: (1) mengembangkan sistem visualisasi *streamgraph* interaktif untuk data SNBT rumpun ilmu komputer Top 10 universitas Indonesia tahun 2021–2025; (2) mengatasi kelemahan *inherent* berupa misinterpretasi nilai absolut pada *streamgraph* konvensional akibat *sine illusion* melalui intervensi spasial Layer Peel yang mampu menjembatani *exploratory overview* dan *analytical precision*; dan (3) mengevaluasi efektivitas mekanisme Layer Peel dalam mengurangi distorsi persepsi serta memvalidasi kemampuannya dalam menyingkap anomali pola mikro melalui pengujian usability terkontrol berskala empiris.

2. Metode Penelitian

Metodologi penelitian ini mencakup tiga komponen utama: pengolahan dan transformasi data, arsitektur visualisasi *streamgraph*, serta desain dan implementasi interaksi *Layer Peel*. Arsitektur sistem dibangun menggunakan pendekatan modular berbasis web yang memisahkan lapisan data, mesin visualisasi (*rendering engine*), dan logika interaksi untuk memfasilitasi pemeliharaan dan skalabilitas komputasi, seperti yang diilustrasikan secara komprehensif pada Gambar 1.



Gambar 1. Arsitektur modular sistem visualisasi yang memisahkan lapisan data, mesin rendering, dan logika interaksi

2.1. Pengolahan Data

Struktur data diorganisasikan dalam bentuk hierarkis terpusat yang menampung rekaman kompetisi untuk sepuluh universitas. Setiap entitas universitas memuat sub-data tingkat program studi yang mencakup variabel daya tampung (*capacity*) dan jumlah pendaftar (*applicants*) dalam rentang waktu lima tahun (2021–2025).

Sebelum proses *rendering*, data mentah ditransformasikan ke dalam format agregat yang dioptimalkan untuk komputasi visual. Metrik turunan dihitung secara dinamis, meliputi rasio kompetisi (*competition ratio*) yang diformulasikan sebagai pembagian jumlah peminat terhadap daya tampung dan persentase penerimaan (*acceptance rate*). Anomali data, seperti kekosongan data (*null/zero values*) pada program studi yang baru dibuka pada pertengahan periode, ditangani melalui teknik interpolasi data kosong untuk mencegah distorsi geometrik pada grafik. Pendekatan transformasi ini menghasilkan struktur data yang seragam, selaras dengan prinsip Perin et al. [14] mengenai perubahan data tabular menjadi medium interaktif tanpa mengorbankan integritas informasi fundamentalnya.

2.2. Arsitektur Visualisasi Streamgraph

Mesin visualisasi dibangun dengan memanfaatkan antarmuka *HTML5 Canvas* guna mencapai kinerja *rendering* yang tinggi dalam memproses deret waktu berganda [15]. Arsitektur visual beroperasi melalui serangkaian tahapan komputasi berurutan: pengurutan data, penentuan tata letak (*layouting*), dan interpolasi kurva.

Proses pengurutan mengimplementasikan algoritma *inside-out ordering* guna mereduksi distorsi bentuk (*wiggle*) [1]. Himpunan data layer diurutkan secara menurun berdasarkan total volume metrik selama periode waktu pengamatan. Jika himpunan yang telah diurutkan didefinisikan sebagai $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, maka pendistribusian layer ke dalam susunan terurut akhir dilakukan secara bergantian ke sisi luar dan dalam dari sumbu tengah, sehingga

elemen dengan volume terbesar (v_1, v_2) diposisikan di pusat sumbu visual.

Komputasi tata letak mengadopsi model *baseline* simetris (*ThemeRiver baseline*) [3]. Pada setiap titik waktu t , posisi *baseline* dasar $y_0(t)$ dihitung secara dinamis sebagai nilai negatif dari setengah total metrik peminat $f_i(t)$:

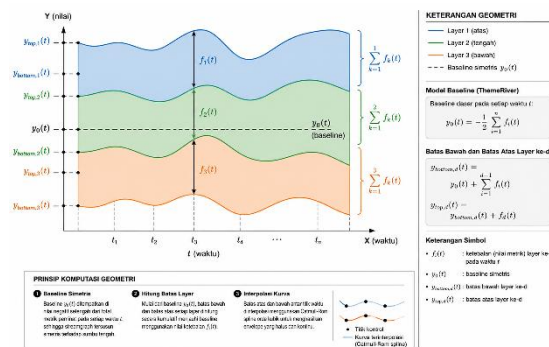
$$y_0(t) = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n f_i(t)$$

Selanjutnya, batas bawah (y_{bottom}) dan batas atas (y_{top}) untuk komputasi geometri setiap layer ke- i dihitung secara berurutan dan kumulatif menjauhi *baseline*:

$$y_{bottom,i}(t) = y_{top,i-1}(t)$$

$$y_{top,i}(t) = y_{bottom,i}(t) + f_i(t)$$

Ilustrasi skematik dari komputasi geometri tata letak kurva beserta batas nilai kumulatifnya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi skematik komputasi geometri tata letak *streamgraph* menggunakan model *baseline* simetris (*ThemeRiver*)

Untuk menciptakan transisi visual yang natural antar titik waktu, sistem mengaplikasikan interpolasi *Catmull-Rom spline* orde kubik. Metode ini menjamin setiap segmen kurva melewati titik kontrol komputasi dengan presisi absolut, menghasilkan wujud *envelope* (batas luar layer) yang kontinu dan terbebas dari artefak visual. Lebih lanjut, prinsip *data-ink ratio* [13] diakomodasi melalui pengeliminasian label statis berlebihan, digantikan oleh mekanisme pelacakan *crosshair* dinamis.

2.3. Desain Interaksi *Layer Peel*

Mekanisme *Layer Peel* beroperasi sebagai inovasi interaksi utama yang memfasilitasi *interactive disentanglement* [7]. Arsitektur interaksi ini berlandaskan pada komputasi pelacakan koordinat (*hit-testing*) dan manipulasi pemisahan spasial.

Transformasi dari representasi ruang data (*data space*) ke ruang piksel (*screen space*) dalam kanvas merupakan fondasi bagi deteksi cursor matematis.

Untuk setiap nilai komputasi v , pemetaan ordinat piksel visual Y_{px} dirumuskan dengan memperhitungkan margin area render batas bawah layar (Y_{bottom}) dan batas atas layar (Y_{top}):

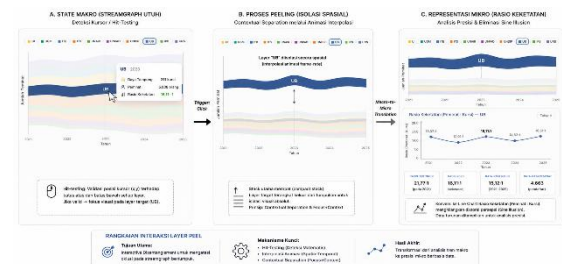
$$Y_{px} = Y_{bottom} - \frac{v - y_{min}}{y_{max} - y_{min}} (Y_{bottom} - Y_{top})$$

Interaksi *hit-testing* memvalidasi posisi cursor terhadap batas atas dan batas bawah kurva layer yang telah diinterpolasi. Saat deteksi bernilai positif, sistem melakukan modulasi opasitas untuk memfokuskan atensi visual pada entitas terpilih.

Transisi dari analisis tren makro ke presisi mikro (proses *peeling*) dipicu oleh interaksi klik. Sistem mengeksekusi animasi berbasis *frame-rate* yang mengisolasi layer target ke luar dari tumpukan *streamgraph* utama. Posisi spasial layer selama transisi dihitung menggunakan interpolasi linier terhadap ruang geometri berbasis parameter waktu normalisasi $\alpha \in [0,1]$:

$$Y(t, \alpha) = (1 - \alpha)Y_{awal}(t) + \alpha Y_{target}(t)$$

Variabel Y_{awal} merepresentasikan geometri kurva saat berada dalam tumpukan penuh, sedangkan Y_{target} merepresentasikan batas kurva saat layer dikupas secara spasial menjadi tumpukan ringkas (*compact stack*). Pemisahan spasial ini merupakan manifestasi langsung dari metode *contextual separation*, menghasilkan kerangka kerja *focus+context* [9] yang mengekstraksi satu entitas target dengan isolasi visual absolut sambil mempertahankan hierarki keseluruhan sebagai referensi historis [8]. Pendekatan interaktif ini diakui secara fundamental sebagai manajemen oklusi yang efektif untuk mencegah distorsi persepsi [10]. Rangkaian interaksi dari deteksi cursor pada ruang makro hingga pemisahan spasial ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema interaksi *disentanglement* berbasis spasial (*Layer Peel*). (A) Deteksi cursor pada ruang makro. (B) Isolasi target melalui interpolasi animasi. (C) Representasi mikro melalui konversi *line chart* ortogonal

Pasca-ekstraksi animasi, representasi data turunan ditampilkan melalui panel analitik *multi-series line chart* konvensional bersumbu linier di bawah visualisasi utama. Restrukturisasi dari bentuk organik kembali menuju garis ortogonal yang stabil secara definitif mengeliminasi interpretasi nilai akibat fenomena *Sine Illusion* pada *streamgraph*

bertumpuk [12]. Strategi konversi makro-ke-mikro ini mewujudkan skema penjelajahan berlapis, mentrasformasikan data mentah yang padat menjadi medium visual analitik yang presisi dan interaktif [4, 11].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Tampilan Awal *Streamgraph*

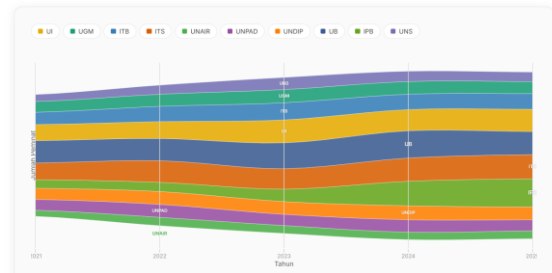
Hasil implementasi menghasilkan visualisasi *streamgraph* yang menampilkan distribusi peminat dari sepuluh universitas terkemuka Indonesia secara bersamaan dalam satu kanvas terintegrasi. Sumbu horizontal merepresentasikan rentang tahun 2021 hingga 2025, sementara tinggi total tumpukan pada setiap titik waktu merepresentasikan jumlah total peminat rumpun ilmu komputer dari seluruh universitas yang dianalisis.

Masing-masing universitas direpresentasikan oleh satu pita (band) dengan warna yang unik dan konsisten. Pengurutan inside-out menempatkan universitas dengan total peminat tertinggi, seperti UB dan ITS, di posisi tengah tumpukan, sehingga menghasilkan distribusi yang simetris dan meminimalkan distorsi wiggle. Label universitas tidak diletakkan di tengah kanvas secara statis, melainkan ditempatkan secara dinamis pada titik di mana pita memiliki ketebalan maksimum (merekpresentasikan puncak jumlah peminat untuk universitas tersebut). Pendekatan penempatan label pada area terluas ini sejalan dengan panduan estetika *streamgraph* yang diusulkan oleh Byron dan Wattenberg [1], yang memastikan label memiliki ruang vertikal yang cukup untuk meminimalkan *visual clutter* dan memberikan identifikasi langsung tanpa harus selalu merujuk pada legenda. Legend interaktif berbentuk pill di atas kanvas memungkinkan pengguna mengaktifkan atau menonaktifkan layer tertentu, menyediakan mekanisme filtering dasar sesuai taksonomi interaksi yang diajukan Heer dan Shneiderman [7].

Secara visual, *streamgraph* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 berhasil mengomunikasikan gambaran makro yang komprehensif: dominansi UB dalam hal volume peminat secara konsisten menempati posisi sentral dengan pita paling tebal, berdampingan dengan UI dan ITS. Secara keseluruhan, total peminat (direpresentasikan dari total tinggi tumpukan) terlihat mengalami tren peningkatan bertahap dari 2021 hingga memuncak di sekitar 2023-2024. Tampilan ini juga secara jelas memperlihatkan perbedaan skala visual yang signifikan antara universitas dengan peminat masif di bagian tengah tumpukan, dibandingkan dengan universitas yang memiliki pita lebih tipis di bagian terluar (seperti UNAIR dan UNS). Fungsi *crosshair* yang diaktifkan melalui *hover* melengkapai tampilan

ini dengan menyediakan *tooltip* untuk pembacaan nilai absolut pada tahun tersebut.

Peminat Rumpun Ilmu Komputer · SNBT 2021–2025
Hover untuk crosshair · Klik layer atau legenda untuk isolasi detail | Data: [SNPMB_snpmb.id](#)



Gambar 4. Visualisasi *streamgraph* yang menampilkan tren perubahan jumlah peminat program studi rumpun Ilmu Komputer pada jalur SNBT di 10 Perguruan Tinggi Negeri periode 2021 hingga 2025

Namun, keterbatasan inheren *streamgraph* juga teridentifikasi dengan jelas pada tampilan ini. Layer-layer yang terletak jauh dari baseline tengah, seperti UNPAD, UNAIR, dan UNS, rentan mengalami deformasi amplitudo yang tertangkap mata akibat *Sine Illusion*: lebar aktual pita terlihat lebih sempit dari nilai absolut yang sebenarnya karena kemiringan kurva batas atas dan bawah yang bergelombang mengikuti tumpukan di bawahnya. Meskipun layer pusat seperti UB relatif stabil, *baseline* layer terluar yang tidak sejajar membuat perbandingan presisi antar-universitas pada tahun yang berbeda sulit dilakukan hanya dengan mengandalkan persepsi visual. Distorsi ini mengonfirmasi temuan Bu et al. [12] dan memvalidasi kebutuhan akan mekanisme *Layer Peel* sebagai solusi analitis.

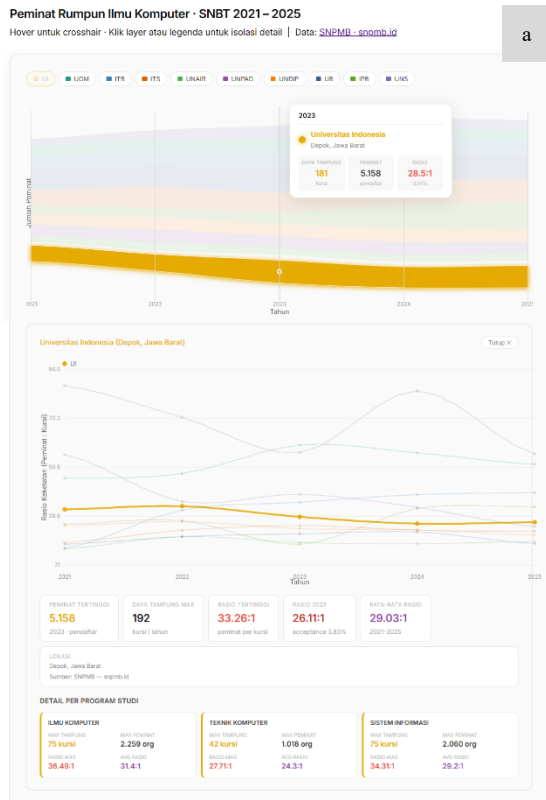
3.2. Studi Kasus: Pengungkapan Pola Mikro (*Micro-Pattern Discovery*)

Ketika pengguna mengklik layer Universitas Indonesia pada *streamgraph*, mekanisme *Layer Peel* diaktifkan. Animasi berlangsung secara dinamis melalui pergerakan halus layer target yang diekstraksi ke baseline bawah, memisahkannya dari tumpukan utama. Secara bersamaan, sembilan layer non-target yang tersisa merapat ke atas membentuk tumpukan compact baru disertai dengan penurunan tingkat opasitas secara drastis (*visual attenuation*). Reduksi visibilitas pada layer non-target ini secara efektif menekan *visual clutter*, sehingga atensi kognitif pengguna sepenuhnya terarah pada layer yang terisolasi [9].

Secara komputasional, seluruh proses re-kalkulasi koordinat poligon (*Catmull-Rom interpolation*) dan transisi animasi ini tereksekusi secara efisien. Berdasarkan pengujian empiris menggunakan perangkat komputasi berspesifikasi Intel Core i5-13450HX dengan kapasitas RAM 12 GB pada peramban berbasis Microsoft Edge, proses re-kalkulasi matriks data dan manipulasi DOM (Document Object Model) berhasil dieksekusi

secara instan tanpa hambatan visual (*stuttering*) yang terobservasi. Kinerja komputasi ini memastikan eksplorasi interaktif berjalan mulus secara *real-time* tanpa latensi rendering yang dapat mendegradasi *User Experience* (UX).

Isolasi spasial ini berfungsi sebagai solusi struktural untuk memfasilitasi pembacaan nilai yang presisi, mengubah representasi data dari mode eksplorasi makro menjadi observasi analitis mikro. Keberhasilan fitur ini dibuktikan melalui pengungkapan pola data Universitas Indonesia (UI) seperti yang diilustrasikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Tampilan *Layer Peel* pada Universitas Indonesia: (a) isolasi layer target diiringi penurunan opasitas pada layer non-target; (b) panel detail terstruktur yang menampilkan metrik komprehensif dan tren temporal UI tahun 2021–2025.

Melalui isolasi *Layer Peel*, sistem menyajikan panel detail terstruktur (Gambar 5b) di mana line chart temporal beroperasi pada baseline yang stabil. Hal ini memungkinkan sistem untuk memvalidasi secara kuantitatif adanya lonjakan pendaftar secara signifikan pada 2023 (mencapai 5.158 pendaftar) yang tidak berbanding lurus dengan daya tampungnya (181 kursi pada tahun tersebut). Lebih jauh, kartu metrik program studi pada panel berhasil menyingkap diferensiasi internal yang tersembunyi di mana program Ilmu Komputer mencatatkan rasio kompetisi maksimal yang sangat ketat (36.49:1), jauh lebih selektif dibandingkan rata-rata rasio institusi secara keseluruhan (29.03:1). Fakta analitis spesifik ini secara inheren tersembunyi (*occluded*) dalam agregasi volume pita visual pada tampilan *streamgraph* utama.

Kemampuan penemuan pola mikro (*micro-pattern discovery*) dari sistem ini dievaluasi lebih lanjut pada kasus Institut Teknologi Bandung (ITB) (lihat Gambar 6).



Gambar 6. Aktivasi *Layer Peel* pada layer Institut Teknologi Bandung (ITB), mengungkap lonjakan rasio kompetisi pada tahun 2023 yang sebelumnya tersamar oleh distorsi visual pada tumpukan utama.

Melalui isolasi spasial *Layer Peel*, sistem berhasil mengungkap anomali struktural yang terdistorsi pada tampilan makro. Pada *streamgraph* konvensional, lonjakan rasio kompetisi pasca-*restrukturisasi* program ITB tersamarkan oleh fluktuasi ketebalan layer yang dipengaruhi oleh efek *Sine Illusion* di pusat tumpukan, mengonfirmasi tantangan pembacaan yang diidentifikasi oleh al. [12]. Namun, mekanisme isolasi *tooltip* dan *baseline* datar pada sistem memvalidasi secara presisi bahwa pada tahun 2023, dengan daya tampung 110 kursi dan 3.848 pendaftar, ITB mencatatkan rasio kompetisi yang tinggi yaitu 34.98:1. Hal ini membuktikan bahwa mekanisme *Layer Peel* secara efektif menerjemahkan ilusi visual menjadi temuan data historis yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan.

3.3. Analisis dan Evaluasi

Perbandingan sistematis antara *streamgraph* konvensional dan *streamgraph* dengan mekanisme *Layer Peel* mengungkap *trade-off* yang signifikan namun komplementer. *Streamgraph* konvensional unggul dalam memfasilitasi tugas tinjauan makro (*overview tasks*): mengidentifikasi universitas mana yang paling banyak diminati secara keseluruhan, mendeteksi tren pertumbuhan atau penurunan pada level nasional, serta membandingkan distribusi relatif antar-universitas. Namun, untuk tugas-tugas analitis yang menuntut presisi seperti membandingkan nilai absolut antara layer yang berbeda, mengidentifikasi anomali daya tampung, atau membaca rasio kompetisi *streamgraph* menunjukkan kelemahan yang nyata akibat efek *Sine Illusion* dan *baseline* yang tidak stabil [12].

Mekanisme *Layer Peel* secara efektif mengatasi kelemahan tersebut dengan memfasilitasi transisi yang mulus dari mode eksplorasi makro ke mode analisis mikro. Ketika sebuah layer target dikupas, pengguna tidak kehilangan konteks global karena tumpukan yang tersisa tetap *visible* sebagai referensi komparatif. Pendekatan ini mewujudkan prinsip

focus+context visualization dalam bentuk yang jauh lebih dinamis dibandingkan dengan metode statis konvensional, seperti *magic lens* yang banyak dikaji dalam literatur.

Untuk memvalidasi efektivitas interaksi ini, evaluasi empiris dilakukan terhadap 15 responden guna mengukur tingkat kebergunaan sistem (*usability*) dan persepsi beban kognitif (*cognitive load*). Pengukuran menggunakan instrumen *System Usability Scale* (SUS) menghasilkan skor rata-rata sebesar 70,83, yang secara definitif menempatkan sistem visualisasi ini pada kategori penerimaan yang baik (*Acceptable/Good*). Lebih lanjut, pengukuran beban kognitif subjektif menunjukkan bahwa mekanisme isolasi spasial *Layer Peel* terbukti mampu mereduksi beban mental pengguna saat melakukan pencarian data spesifik. Responden melaporkan tingkat kemudahan visualisasi yang tinggi dengan skor rata-rata 4,27 (dari skala 5) dan tingkat frustrasi analitis yang minim dengan skor rata-rata 2,27 (dari skala 5). Temuan kuantitatif ini secara empiris memvalidasi kerangka kerja yang diargumentasikan oleh Gleicher et al. [8], di mana perbandingan visual yang efektif melalui pemisahan spasial berhasil menekan interferensi visual dan beban kognitif.

Dari dimensi penemuan pola mikro (*micro-pattern detection*), *Layer Peel* memberikan keunggulan analitis yang substansial. Pola-pola seperti pertumbuhan bertahap daya tampung ITS pada program Rekayasa Kecerdasan Artifisial sejak 2024, atau penurunan daya tampung UNDIP pada program Teknik Komputer, hampir tidak dapat dideteksi pada *streamgraph* utama akibat skala visual yang didominasi oleh institusi-institusi besar. Dalam panel detail *Layer Peel* dengan sumbu yang dikalibrasi secara lokal dan ortogonal, pola-pola ini terekspose menjadi sangat jelas dan presisi.

Kemampuan penjelajahan (*exploratory capability*) sistem juga terakselerasi secara signifikan dengan integrasi kartu statistik dan tabel metrik program studi. Pengguna yang sebelumnya hanya mengandalkan persepsi komparatif atas pergerakan layer kini dapat langsung mengekstraksi nilai kuantitatif yang bermakna: rata-rata rasio kompetisi institusi, penentuan program studi paling selektif, dan dinamika tren rasio dari tahun ke tahun. Karakteristik ini secara fundamental menggeser sistem dari sekadar instrumen visualisasi (*pure visualization tool*) menjadi dasbor analitik (*analytical dashboard*) komprehensif yang mendukung pengambilan keputusan berbasis data nyata.

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan mekanisme *Layer Peel* pada visualisasi *streamgraph*

interaktif untuk mengatasi bias persepsi geometris (*Sine Illusion*) dalam eksplorasi data time-series multivariat kompetisi SNBT rumpun ilmu komputer periode 2021–2025. Melalui implementasi *interactive disentanglement* berbasis pemisahan spasial, sistem ini secara efektif menjembatani dua kebutuhan analitis yang komplementer: eksplorasi tren makro secara holistik dan presisi pembacaan data temporal tingkat mikro.

Secara empiris, mekanisme *Layer Peel* terbukti mampu menyingkap anomali struktural dan pola mikro yang sebelumnya terdistorsi secara visual pada tumpukan makro, seperti tervalidasinya lonjakan rasio kompetisi ekstrem pada program studi Ilmu Komputer Universitas Indonesia (36,49:1) dan Institut Teknologi Bandung (34,98:1) pada tahun 2023. Lebih lanjut, evaluasi yang dilakukan terhadap 15 responden mengonfirmasi efektivitas sistem dalam mereduksi beban kognitif pengguna (skor kemudahan 4,27 dari 5) dan mencapai nilai *System Usability Scale* (SUS) sebesar 70,83 yang berada pada kategori penerimaan yang baik. Temuan fundamental ini menggeser kapabilitas *streamgraph* dari sekadar instrumen tinjauan estetis menjadi dasbor analitik komprehensif.

Sebagai ekstensi dari fondasi arsitektur *Layer Peel* yang telah dibangun, peluang pengembangan ke depan dapat diarahkan pada perluasan kapabilitas visual dan skalabilitas analitik sistem. Pertama, mekanisme *peeling* interaktif dapat diperkaya dengan modul *data storytelling* berbasis animasi transisi adaptif, yang tidak hanya mengisolasi *layer* secara spasial, tetapi juga secara komputasional memandu atensi pengguna menuju titik-titik anomali data. Kedua, ruang lingkup pemisahan spasial dapat diekspansi untuk mendukung komparasi *multi-layer*, memungkinkan analisis untuk mengekstraksi dan menyejajarkan beberapa entitas secara simultan guna menemukan korelasi tren kompetisi antar-universitas dengan tetap mempertahankan konteks global. Ketiga, integrasi algoritma *adaptive baseline* dapat diterapkan untuk secara dinamis merekalibrasi orientasi geometri *streamgraph* berdasarkan karakteristik spesifik dari *layer* yang sedang dieksplorasi. Terakhir, untuk mempertegas kontribusi *Layer Peel* dalam literatur interaksi manusia-komputer, studi komparatif (*benchmarking*) berskala lebih luas dapat dilakukan guna membandingkan tingkat efisiensi asimilasi informasinya secara langsung terhadap paradigma visualisasi *time-series* alternatif.

Daftar Rujukan

- [1] Byron, L., & Wattenberg, M. (2008). Stacked Graphs – Geometry & Aesthetics. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 14(6), 1245–1252.
- [2] Cleveland, W. S., & McGill, R. (1984). Graphical Perception: Theory, Experimentation, and Application to

- the Development of Graphical Methods. *Journal of the American Statistical Association*, 79(387), 531–554.
- [3] Havre, S., Hetzler, E., Whitney, P., & Nowell, L. (2002). ThemeRiver: Visualizing Theme Changes over Time. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 8(1), 9–20.
- [4] Javed, W., McDonnel, B., & Elmqvist, N. (2010). Graphical Perception of Multiple Time Series. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 16(6), 927–934.
- [5] Few, S. (2009). *Now You See It: Simple Visualization Techniques for Quantitative Analysis*. Analytics Press.
- [6] Heer, J., & Bostock, M. (2010). Crowdsourcing Graphical Perception: Using Mechanical Turk to Assess Visualization Design. *Proceedings of ACM CHI*, 203–212.
- [7] Heer, J., & Shneiderman, B. (2012). Interactive Dynamics for Visual Analysis. *Communications of the ACM*, 55(4), 45–54.
- [8] Gleicher, M., Albers, D., Walker, R., Jusufi, I., Hansen, C. D., & Roberts, J. C. (2011). Visual Comparison for Information Visualization. *Information Visualization*, 10(4), 271–288.
- [9] Kincaid, R., & Lam, H. (2006). Line Graph Explorer: Scalable Display of Line Graphs using Focus+Context. *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI)*, 404–411.
- [10] Elmqvist, N., & Tsigas, P. (2008). A Taxonomy and Heuristic Design Space for Occlusion Management in 3D Information Visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 14(5), 1095–1109.
- [11] Diakopoulos, N., Kivran-Swaine, F., & Naaman, M. (2011). Playable Data: Characterizing Interactive Design in Visualizations. *Proceedings of ACM CHI*, 1715–1724.
- [12] Bu, C., Zhang, Q., Wang, Q., Zhang, J., Sedlmair, M., Deussen, O., & Wang, Y. (2021). SineStream: Improving the Readability of Streamgraphs by Minimizing Sine Illusion Effects. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 27(2), 1634–1643.
- [13] Tufte, E. R. (1983). *The Visual Display of Quantitative Information*. Graphics Press.
- [14] Perin, C., Dragicevic, P., & Fekete, J. D. (2014). Revisiting Bertin Matrices: New Interactions for Exploring Tabular Data. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 20(12), 2082–2091.
- [15] Aigner, W., Miksch, S., Müller, W., Schumann, H., & Tominski, C. (2008). Visual Methods for Analyzing Time-Oriented Data. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 14(1), 47–60.
- [16] World Economic Forum. (2025). The Future of Jobs Report 2025. Geneva, Switzerland: World Economic Forum.