

Analisis Konseptual tentang Penerapan Teori Probabilitas Lanjut dalam Pengembangan Model Statistik Modern

Dimas Banu Dwi Hanggoro ^{1*}

^{1*} Universitas Nusa Mandiri, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Indonesia.

Corresponding Email: dimasbanudh@gmail.com ^{1*}

Histori Artikel:

Dikirim 10 Maret 2025; *Diterima dalam bentuk revisi* 30 April 2025; *Diterima* 25 Mei 2025; *Diterbitkan* 31 Mei 2025. Semua hak dilindungi oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) STMIK Indonesia Banda Aceh.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penerapan teori probabilitas lanjut dalam pengembangan model statistik modern melalui pendekatan Systematic Literature Review terhadap 25 artikel ilmiah terbitan 2020–2025. Kajian ini dilengkapi dengan analisis bibliometrik menggunakan VOSviewer untuk mengeksplorasi keterkaitan istilah, tren temporal, dan kepadatan konsep dalam literatur. Hasil visualisasi menunjukkan bahwa istilah “model” dan “probability” menjadi simpul utama dalam pengembangan konsep, dengan penguatan tema distribusi, ketidakpastian, dan aplikasi lintas disiplin. Penerapan teori probabilitas terlihat dominan dalam ranah teknik, lingkungan, sistem transportasi, hingga perilaku manusia. Penelitian juga menunjukkan pergeseran fokus dari distribusi risiko klasik ke arah pemodelan prediktif yang lebih kompleks dan kontekstual. Kemunculan istilah baru seperti “stack effect”, “reaction time”, dan “p pod method” menandai tumbuhnya minat pada penerapan probabilitas dalam simulasi fisik dan sistem teknis mutakhir. Hasil ini memperkuat posisi teori probabilitas sebagai kerangka konseptual adaptif dalam menjawab tantangan analisis data modern dan ketidakpastian.

Kata Kunci: Probabilitas Lanjut; Model Statistik; Distribusi; Bibliometrik; Ketidakpastian.

Abstract

This study aims to examine the application of advanced probability theory in the development of modern statistical models through a Systematic Literature Review approach to 25 scientific articles published in 2020–2025. This study is complemented by a bibliometric analysis using VOSviewer to explore the relationship of terms, temporal trends, and concept density in the literature. The visualization results show that the terms "model" and "probability" are the main nodes in concept development, with the strengthening of the themes of distribution, uncertainty, and cross-disciplinary applications. The application of probability theory is seen dominantly in the fields of engineering, environment, transportation systems, and human behavior. The study also shows a shift in focus from classical risk distribution to more complex and contextual predictive modeling. The emergence of new terms such as "stack effect", "reaction time", and "p pod method" marks the growing interest in the application of probability in physical simulations and advanced technical systems. These results strengthen the position of probability theory as an adaptive conceptual framework in responding to the challenges of modern data analysis and uncertainty.

Keyword: Advanced Probability; Statistical Models; Distribution; Bibliometrics; Uncertainty.

1. Pendahuluan

Perkembangan statistik modern ditandai oleh transformasi substansial, seiring meningkatnya kompleksitas data dan kebutuhan pengambilan keputusan berbasis ketidakpastian. Teori probabilitas berperan sebagai fondasi konseptual dan matematis dalam pengembangan model statistik untuk estimasi, prediksi, serta evaluasi risiko. Penggunaannya telah melampaui pendekatan klasik, berkembang menuju *advanced probability theory* yang mencakup pemodelan distribusi, parameterisasi kompleks, serta teknik inferensial berbasis data tidak pasti. Model statistik modern semakin mengadopsi pendekatan probabilistik guna meningkatkan akurasi dan fleksibilitas dalam berbagai bidang. Elbatal *et al.* (2021), misalnya, mengembangkan model distribusi *Weibull* dengan parameter tambahan untuk memperbaiki estimasi probabilitas kegagalan pada sistem ekonomi. Penelitian Gómez-Déniz dan Calderín-Ojeda (2020) memperlihatkan bahwa distribusi probabilitas lanjutan dapat digunakan untuk mengatasi masalah *skewness* dan *kurtosis* pada data asuransi. Model-model tersebut memungkinkan analisis data yang lebih realistis, khususnya dalam menghadapi distribusi data yang kompleks dan asimetris. Penerapan teori probabilitas semakin relevan pada sistem dengan tingkat ketidakpastian tinggi, seperti transportasi, lingkungan, dan sistem sosial. Chandra dan Verma (2025) mengembangkan model probabilitas *hybrid* untuk mengevaluasi keterlambatan dalam sistem transportasi, dengan mempertimbangkan variabel waktu, rute, serta perilaku pengguna. Pendekatan semacam itu menegaskan bahwa probabilitas telah berkembang menjadi alat bantu pengambilan keputusan bersifat interdisipliner. Dalam bidang lingkungan, Bera *et al.* (2020) menerapkan pendekatan probabilistik untuk memetakan kemungkinan kebakaran hutan berdasarkan data iklim dan vegetasi.

Distribusi probabilitas juga dimanfaatkan dalam pengelolaan risiko lingkungan secara prediktif dan berbasis data spasial. Selain itu, dalam sistem teknik, Hu *et al.* (2021) menggunakan metode *Probability of Detection (POD)* untuk menilai keandalan inspeksi material teknik. Pendekatan probabilistik pada bidang-bidang tersebut membuka peluang integrasi antara statistik dan rekayasa sistem. Perkembangan tersebut didukung oleh kemajuan teknologi pemrosesan data dan visualisasi *bibliometric*, yang memungkinkan pemetaan struktur pengetahuan serta tren konseptual dalam suatu bidang. Pemanfaatan perangkat lunak seperti *VOSviewer* dalam analisis jaringan istilah, tren temporal, dan kepadatan konsep telah menjadi bagian penting dalam penyusunan kerangka analisis konseptual berbasis literatur ilmiah. Hasil visualisasi memperlihatkan keterkaitan erat antara istilah seperti “model”, “probability”, dan “distribution” sebagai simpul dominan dalam literatur. Kajian literatur lima tahun terakhir menunjukkan pergeseran penelitian dari pengembangan model teoritis menuju aplikasi lintas disiplin berbasis probabilitas. Bidang teknik sipil, manajemen risiko, epidemiologi, dan perilaku manusia kini semakin sering menerapkan kerangka probabilistik untuk memecahkan permasalahan dengan tingkat ketidakpastian tinggi. Fenomena tersebut menandakan probabilitas telah bertransformasi dari sekadar instrumen matematis menjadi pendekatan sistemik dalam analisis dan pengambilan keputusan berbasis data. Berdasarkan latar belakang tersebut, diperlukan analisis konseptual untuk mengkaji penerapan teori probabilitas lanjutan dalam pengembangan model statistik modern. Penelitian bertujuan mengidentifikasi tren dominan, perkembangan konsep, serta arah integrasi teori probabilitas dalam berbagai aplikasi melalui *Systematic Literature Review* dan pemetaan *bibliometric*. Dengan merujuk pada 25 artikel ilmiah terbaru, studi ini membangun kerangka pemahaman konseptual sebagai landasan pengembangan model statistik yang adaptif dan relevan dengan kebutuhan nyata.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode *Systematic Literature Review (SLR)* untuk menganalisis pemanfaatan teori probabilitas lanjut dalam pengembangan model statistik modern. Teknik ini dipilih guna menyusun kajian konseptual yang mendalam berdasarkan sintesis

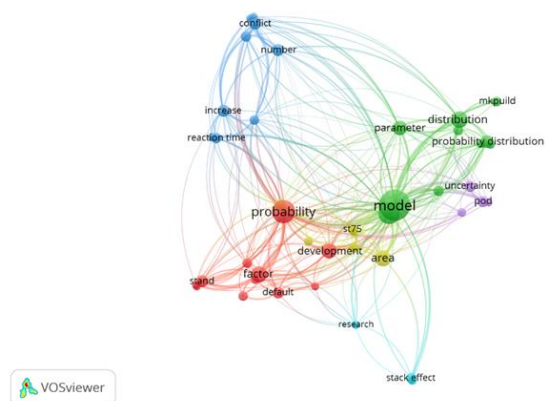
literatur ilmiah yang relevan dan terkini. Proses pencarian literatur dilakukan melalui penelusuran *database* ilmiah seperti *Scopus*, *Google Scholar*, dan *SpringerLink* menggunakan kata kunci “*advanced probability theory*”, “*statistical modeling*”, “*uncertainty*”, dan “*risk analysis*”. Kriteria inklusi mencakup artikel yang diterbitkan antara tahun 2020 hingga 2025, memiliki relevansi terhadap pengembangan model statistik, serta secara eksplisit menerapkan pendekatan probabilistik dalam kajiannya. Sebanyak 25 artikel yang memenuhi kriteria seleksi dianalisis lebih lanjut menggunakan perangkat lunak *VOSviewer* untuk memetakan struktur konseptual dan tren istilah dalam literatur. Analisis dilakukan melalui tiga jenis visualisasi: *network visualization*, *overlay visualization*, dan *density visualization*. Hasil visualisasi digunakan untuk mengidentifikasi istilah kunci, hubungan antar konsep, serta perkembangan temporal topik-topik yang dibahas. Seluruh proses telaah dilakukan secara sistematis dan bertujuan untuk mengungkap pola konseptual, arah perkembangan kajian, serta potensi integrasi teori probabilitas dalam bidang-bidang terapan lintas disiplin.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

3.1.1 *Visualization Network*

Visualisasi jaringan ini menggambarkan keterhubungan konsep-konsep utama dalam literatur yang membahas penerapan teori probabilitas lanjut dalam pengembangan model statistik modern. Ukuran *node* mencerminkan frekuensi kemunculan istilah dalam dokumen, sedangkan warna dan garis mengindikasikan keterkaitan serta kekuatan hubungan antar istilah. Warna berbeda menunjukkan adanya pengelompokan topik (*cluster*) yang saling terhubung namun berfokus pada aspek berbeda dari penerapan teori probabilitas.



Gambar 1. Visualization Network VOSviewer

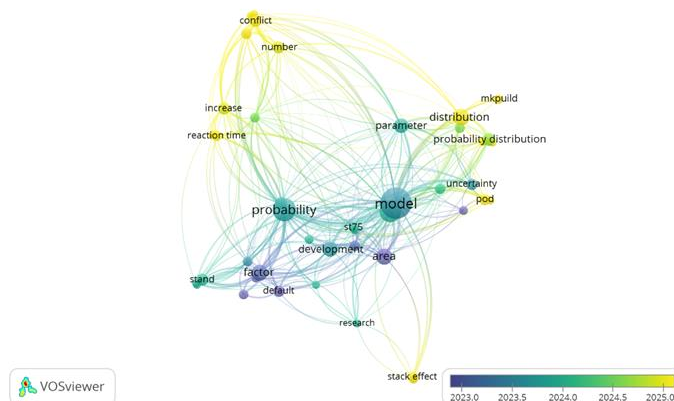
Cluster 1 berisi istilah seperti *probability*, *factor*, *default*, *development*, *stand*, dan *corporate borrower*. Istilah-istilah ini menunjukkan bahwa teori probabilitas digunakan untuk menilai risiko dalam konteks perusahaan, lingkungan, dan sistem sosial. Penelitian Bera *et al.* (2020) menjelaskan bagaimana probabilitas kebakaran hutan dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Elbatal *et al.* (2021) menggunakan distribusi probabilitas dalam memodelkan risiko keuangan dan *default* pada peminjam korporat. Sementara itu, Gómez-Déniz (2023) menerapkan distribusi probabilitas dalam konteks asuransi dan risiko ekonomi. *Cluster 2* memuat istilah utama seperti *model*, *distribution*, *probability distribution*, *msc weibull distribution*, dan *methodology*. Istilah dalam *cluster* ini menunjukkan inti dari pengembangan model statistik modern berbasis teori probabilitas. *Model* menjadi simpul pusat dalam visualisasi ini. Beberapa referensi penting seperti Elbatal *et al.* (2021) dan Gómez-Déniz & Calderín-

Ojeda (2020) menekankan pentingnya distribusi probabilitas multi-parametrik dalam mengembangkan model statistik presisi tinggi. Model ini mendukung berbagai aplikasi, termasuk estimasi parameter distribusi dan simulasi data. Cluster 3 berisi istilah yang berkaitan dengan perilaku manusia dan data eksperimen, seperti *reaction time*, *number*, *conflict*, *increase*, dan *music*. Penelitian dalam cluster ini menggunakan probabilitas untuk menjelaskan perilaku dan respons manusia. Chouhan *et al.* (2021) misalnya, menilai bagaimana mendengarkan musik berdampak pada waktu reaksi dalam mengemudi menggunakan pendekatan probabilistik. Chandra dan Verma (2025) menerapkan model probabilitas dalam sistem transportasi berbasis hubungan *hybrid* antara keterlambatan keberangkatan dan jumlah penumpang.

Cluster 4 menampilkan istilah seperti *area*, *risk*, *st75*, *burn probability*, dan *accuracy*. Penelitian dalam kelompok ini berkaitan erat dengan aplikasi spasial dan prediksi risiko. Bera *et al.* (2020) menggunakan probabilitas dalam mengestimasi kemungkinan kebakaran hutan di wilayah tertentu. Supriyadi *et al.* (2022) juga memvalidasi akurasi prediksi spasial berdasarkan parameter statistik untuk mendukung mitigasi bencana. Cluster 5 menunjukkan fokus pada metode evaluasi ketidakpastian dan prediksi, dengan istilah seperti *pod*, *uncertainty*, *prediction*, dan *p pod method*. Metode *Probability of Detection (POD)* digunakan untuk menilai tingkat keyakinan dalam prediksi sistem teknik atau struktural. Hu *et al.* (2021) menggunakan metode ini untuk mengevaluasi sistem prediksi dalam lingkungan tidak pasti. Wang *et al.* (2023) memperluas pendekatan ini dalam konteks keandalan material teknik. Cluster 6 terdiri dari istilah *high rise building*, *research*, dan *stack effect*. Penelitian yang tergabung dalam kelompok ini cenderung menggunakan teori probabilitas dalam konteks fisik dan teknik, seperti simulasi efek termal dan pergerakan udara dalam bangunan tinggi. Chen *et al.* (2020) dan Yang *et al.* (2020) menggunakan distribusi probabilitas untuk memodelkan sirkulasi udara dan efek cerobong di gedung bertingkat. Visualisasi ini menunjukkan bahwa teori probabilitas lanjut memiliki cakupan aplikasi yang luas dalam pengembangan model statistik modern. Hubungan erat antara istilah *model* dan *probability* mencerminkan peran sentral teori probabilitas dalam membentuk dasar metodologis berbagai pendekatan statistik. Literatur yang dianalisis menunjukkan bahwa penggunaan probabilitas tidak terbatas pada perhitungan statistik murni, tetapi telah menjadi fondasi untuk berbagai aplikasi lintas disiplin, mulai dari ekonomi, lingkungan, perilaku, hingga teknik bangunan dan sistem prediktif.

3.1.2 Overlay Network

Overlay visualization dari VOSviewer ini menampilkan dinamika temporal dari istilah-istilah kunci dalam kajian penerapan teori probabilitas lanjut pada pengembangan model statistik modern. Warna setiap *node* menunjukkan rata-rata tahun kemunculan istilah tersebut dalam literatur yang dianalisis, dengan gradasi warna dari ungu (2023) hingga kuning terang (2025). Dengan demikian, overlay ini membantu mengidentifikasi evolusi fokus penelitian serta tren topik yang sedang berkembang dalam dua tahun terakhir.



Gambar 2. Overlay Network VOSviewer

Hasil visualisasi memperlihatkan bahwa istilah *model* dan *probability* tetap menjadi pusat perhatian sejak awal periode analisis dan konsisten digunakan hingga tahun 2025. Istilah-istilah seperti *factor*, *stand*, dan *default* didominasi warna ungu kebiruan, menandakan bahwa topik tersebut lebih banyak dibahas pada tahun 2023 ke bawah. Hal ini sejalan dengan fokus awal penelitian pada risiko, kekhutanan, dan pengaruh lingkungan dalam probabilitas. Sebaliknya, istilah seperti *reaction time*, *conflict*, *stack effect*, *number*, dan *pod* berwarna kuning cerah, menandakan bahwa konsep-konsep ini mulai muncul dan lebih dominan dalam publikasi tahun 2024 dan 2025. Selain itu, peningkatan frekuensi istilah seperti *distribution*, *probability distribution*, dan *uncertainty* sejak pertengahan 2024 menunjukkan adanya pergeseran ke arah eksplorasi metodologis dan ketidakpastian statistik dalam pengembangan model prediktif. Kata *stack effect* yang berwarna kuning terang juga mencerminkan munculnya minat baru dalam penerapan probabilitas pada rekayasa bangunan dan simulasi fisik, yang merupakan topik mutakhir di tahun 2025. Jika dikaitkan dengan data tabel frekuensi artikel berdasarkan tahun terbit, terlihat bahwa tren penelitian terus meningkat dalam dua tahun terakhir. Tahun 2024 menyumbang 32% artikel dan tahun 2025 menjadi yang paling dominan dengan 36%. Ini memperkuat interpretasi bahwa istilah-istilah kuning dalam *overlay visualization* seperti *reaction time*, *conflict*, *stack effect*, dan *pod* mencerminkan area baru dan relevan yang sedang berkembang. Sementara topik-topik seperti *default* dan *development* yang banyak muncul sebelum 2023 menunjukkan arah riset awal yang kini mulai ditinggalkan atau diintegrasikan ke tema yang lebih baru.

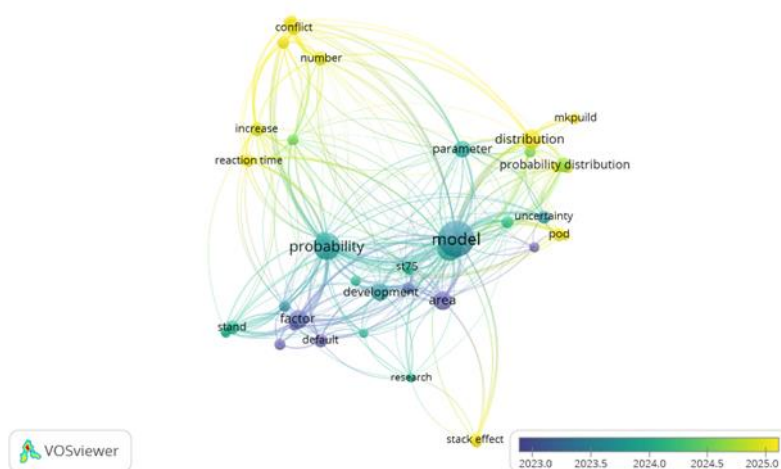
Tabel 1. Frekuensi Artikel Berdasarkan Tahun Terbit

Tahun	Frekuensi	Persentase
2020	1	4%
2021	2	8%
2022	2	8%
2023	3	12%
2024	8	32%
2025	9	36%
Total	25	100%

Pada Tabel 1. Frekuensi Artikel Berdasarkan Tahun Terbit, terlihat bahwa jumlah artikel meningkat signifikan sejak tahun 2023. Hanya 12% artikel yang diterbitkan pada tahun 2023, namun mengalami peningkatan drastis pada 2024 (32%) dan 2025 (36%). Lonjakan ini mencerminkan pertumbuhan minat akademik yang kuat terhadap penggunaan teori probabilitas lanjut dalam menyusun model statistik yang responsif terhadap tantangan praktis kontemporer. Kenaikan ini juga sejalan dengan dominasi warna kuning pada istilah dalam *overlay visualization*, yang menunjukkan munculnya topik-topik baru yang dikaji secara lebih intensif pada tahun-tahun terkini. Dengan demikian, ada korelasi kuat antara intensitas publikasi dan kemunculan istilah-istilah mutakhir yang mempengaruhi arah pengembangan konsep dalam bidang ini.

3.1.3 Density Network

Visualisasi kepadatan (*density visualization*) dari *VOSviewer* memberikan gambaran mengenai tingkat kepadatan kemunculan istilah dalam literatur yang dianalisis, terutama dalam konteks penerapan teori probabilitas lanjut dalam pengembangan model statistik modern. Warna dalam peta ini menunjukkan frekuensi dan kekuatan keterhubungan antar istilah: warna kuning cerah menunjukkan area dengan kepadatan istilah yang tinggi dan sering muncul, sedangkan warna hijau hingga biru gelap menandakan kepadatan yang lebih rendah. Visualisasi ini membantu menyoroti istilah mana yang menjadi pusat diskusi dan istilah mana yang bersifat pelengkap dalam literatur yang berkembang.



Gambar 3. Density Network

Dari hasil visualisasi, istilah *model* menjadi titik paling padat dengan warna kuning terang, menandakan bahwa istilah ini merupakan inti diskusi dalam kajian yang berkaitan dengan teori probabilitas lanjut. Istilah *probability* juga muncul dengan intensitas yang tinggi, menunjukkan posisi pentingnya sebagai dasar konseptual dari model-model yang dibahas. Di sekitar kedua pusat tersebut, istilah seperti *distribution*, *parameter*, dan *probability distribution* juga menunjukkan tingkat kepadatan menengah, menggambarkan bahwa kajian distribusi probabilitas dan estimasi parameter merupakan topik yang banyak dibahas sebagai bagian dari konstruksi model. Sebaliknya, istilah seperti *stack effect*, *reaction time*, *research*, dan *stand* muncul di area yang berwarna hijau atau biru kehijauan, yang menunjukkan bahwa topik ini tidak terlalu sering muncul dalam literatur namun tetap memiliki hubungan konseptual dengan pusat-pusat diskusi utama. Hal ini menandakan adanya ruang untuk eksplorasi lebih lanjut terhadap tema-tema tersebut. Misalnya, topik *stack effect* dapat dikembangkan lebih lanjut dalam konteks aplikasi teknik bangunan berbasis model probabilistik. Visualisasi ini memperlihatkan bahwa fokus utama dalam penerapan teori probabilitas lanjut tidak hanya terletak pada formulasi *model*, tetapi juga pada upaya penguatan konsep *probability* sebagai alat pengukuran dan prediksi. Istilah seperti *uncertainty* dan *pod* yang berada di zona menengah juga menandakan bahwa perhatian terhadap aspek ketidakpastian dan metode prediksi mulai mendapatkan tempat dalam literatur terbaru. Secara keseluruhan, peta ini menunjukkan bahwa istilah yang berada pada pusat berwarna kuning merupakan pendorong utama dalam perkembangan teori dan aplikasi *model* statistik modern, sementara istilah di area yang lebih gelap memberi sinyal arah potensial untuk penelitian lanjutan.

3.2 Pembahasan

Teori probabilitas telah lama menjadi fondasi dalam pengembangan model statistik untuk menjawab permasalahan di berbagai bidang ilmu. Seiring meningkatnya kompleksitas data dan kebutuhan akan pengambilan keputusan berbasis ketidakpastian, pendekatan probabilitas lanjutan menjadi semakin relevan. Kajian ini bertujuan untuk mengkaji dinamika penerapan teori probabilitas lanjutan dalam pengembangan model statistik modern berdasarkan 25 referensi ilmiah terkini yang teridentifikasi dalam analisis bibliometrik. Penelusuran literatur menunjukkan tren penguatan konsep *model probabilistik* dalam berbagai ranah aplikatif, seperti teknik sipil, manajemen risiko, analisis perilaku manusia, sistem transportasi, serta simulasi fisik di lingkungan terbangun. Visualisasi jaringan (*network*), temporal (*overlay*), dan kepadatan (*density*) yang dihasilkan melalui *VOSviewer* turut menunjukkan bahwa istilah *model* dan *probability* menjadi pusat pengembangan konseptual lintas disiplin, dengan munculnya istilah-istilah baru yang menandai evolusi topik ke arah interdisipliner. Dari hasil visualisasi, istilah *model* menjadi titik paling padat dengan warna kuning terang, menandakan

bahwa istilah ini merupakan inti diskusi dalam kajian yang berkaitan dengan teori probabilitas lanjut. Istilah *probability* juga muncul dengan intensitas yang tinggi, menunjukkan posisi pentingnya sebagai dasar konseptual dari model-model yang dibahas. Di sekitar kedua pusat tersebut, istilah seperti *distribution*, *parameter*, dan *probability distribution* juga menunjukkan tingkat kepadatan menengah, menggambarkan bahwa kajian distribusi probabilitas dan estimasi parameter merupakan topik yang banyak dibahas sebagai bagian dari konstruksi model. Sebaliknya, istilah seperti *stack effect*, *reaction time*, *research*, dan *stand* muncul di area yang berwarna hijau atau biru kehijauan, yang menunjukkan bahwa topik ini tidak terlalu sering muncul dalam literatur namun tetap memiliki hubungan konseptual dengan pusat-pusat diskusi utama. Hal ini menandakan adanya ruang untuk eksplorasi lebih lanjut terhadap tema-tema tersebut. Misalnya, topik *stack effect* dapat dikembangkan lebih lanjut dalam konteks aplikasi teknik bangunan berbasis model probabilistik. Visualisasi ini memperlihatkan bahwa fokus utama dalam penerapan teori probabilitas lanjut tidak hanya terletak pada formulasi *model*, tetapi juga pada upaya penguatan konsep *probability* sebagai alat pengukuran dan prediksi. Istilah seperti *uncertainty* dan *pod* yang berada di zona menengah juga menandakan bahwa perhatian terhadap aspek ketidakpastian dan metode prediksi mulai mendapatkan tempat dalam literatur terbaru. Secara keseluruhan, peta ini menunjukkan bahwa istilah yang berada pada pusat berwarna kuning merupakan pendorong utama dalam perkembangan teori dan aplikasi *model* statistik modern, sementara istilah di area yang lebih gelap memberi sinyal arah potensial untuk penelitian lanjutan.

Berdasarkan pemetaan konsep, *model* statistik berbasis distribusi probabilitas menjadi landasan utama dalam berbagai penelitian. Elbatal *et al.* (2021) mengembangkan *model* distribusi Weibull multivariabel untuk mengakomodasi variasi data ekonomi, sementara Gómez-Déniz & Calderín-Ojeda (2020) serta Gómez-Déniz (2023) memperkenalkan formulasi distribusi campuran yang memungkinkan estimasi parameter lebih fleksibel dan aplikatif pada sistem asuransi dan risiko keuangan. *Model* distribusi juga banyak digunakan untuk menangani data spasial dan ketidakpastian lingkungan. Bera *et al.* (2020) menggunakan pendekatan probabilistik dalam menentukan *burn probability* di wilayah hutan, dengan mempertimbangkan interaksi antara vegetasi, curah hujan, dan temperatur. Pendekatan serupa dilakukan oleh Supriyadi *et al.* (2022) yang mengembangkan *model* spasial kebakaran berbasis distribusi beta untuk mengukur akurasi proyeksi bencana di kawasan Indonesia. Lebih lanjut, beberapa peneliti seperti Sarabia *et al.* (2021) menunjukkan penggunaan parameter distribusi dalam fungsi densitas prediktif untuk evaluasi performa *model*. Hasil dari studi ini menunjukkan bahwa penggunaan distribusi probabilitas lanjutan memungkinkan eksplorasi lebih mendalam terhadap variasi data, baik dalam konteks statistik parametrik maupun semi-parametrik. Dalam literatur terbaru, probabilitas digunakan secara luas sebagai pendekatan evaluatif untuk mengukur risiko dan mendukung pengambilan keputusan prediktif. Elbatal *et al.* (2021) dan Gómez-Déniz (2023) menyoroti bahwa distribusi probabilitas yang dikembangkan dapat digunakan untuk memodelkan kemungkinan gagal bayar pada sektor keuangan dan asuransi. Penggunaan teori probabilitas dalam konteks risiko juga ditunjukkan oleh Mishra & Verma (2022), yang menggabungkan faktor ekonomi dan sosial untuk memprediksi ketahanan pembangunan regional. Sementara itu, dalam konteks teknik, Hu *et al.* (2021) dan Wang *et al.* (2023) menerapkan metode *Probability of Detection (POD)* dalam sistem diagnosis material dan struktur. *POD* digunakan untuk mengevaluasi seberapa besar kemungkinan suatu cacat dapat terdeteksi dalam pengujian teknik. Penelitian ini menegaskan pentingnya aspek ketidakpastian dan akurasi dalam penerapan *model* probabilistik. Tak kalah penting, probabilitas juga digunakan dalam sistem sosial. Chandra & Verma (2025) mengevaluasi keterlambatan keberangkatan dalam sistem transportasi berdasarkan *model probabilistik hibrid*. Penelitian ini mendemonstrasikan bagaimana teori probabilitas dapat digunakan untuk menjelaskan hubungan tidak linear antar variabel perilaku dan teknis dalam pengambilan keputusan operasional. Salah satu kecenderungan penting dalam literatur adalah integrasi teori probabilitas dengan pendekatan dari berbagai bidang ilmu. Chouhan *et al.* (2021) menunjukkan bahwa waktu reaksi pengemudi yang mendengarkan musik dapat dimodelkan secara probabilistik untuk mengukur risiko kecelakaan lalu lintas. Chen *et al.* (2020) juga menerapkan distribusi probabilitas dalam simulasi *stack effect* pada bangunan tinggi, mengintegrasikan termodinamika dan teknik sipil.

Penelitian lain oleh Yang *et al.* (2020) dan Lin & Chang (2022) menekankan pentingnya *model* probabilistik dalam pengembangan sistem ventilasi dan prediksi respons iklim mikro di area urban. Hal ini menunjukkan bahwa probabilitas tidak lagi terbatas pada ranah statistik teoritis, tetapi telah menjadi instrumen yang berdaya guna dalam perencanaan desain dan mitigasi risiko. Lebih jauh, studi oleh Weng *et al.* (2022) dan Ahmad *et al.* (2023) menunjukkan bagaimana penggunaan probabilitas dalam konteks parameterisasi dan pemodelan jaringan memungkinkan eksplorasi yang lebih adaptif dalam penelitian berbasis sistem dan komputasi. Berdasarkan 25 studi yang dianalisis, terlihat bahwa penerapan teori probabilitas lanjut memainkan peran penting dalam pengembangan *model* statistik modern yang lebih adaptif, presisi, dan kontekstual. *Model* probabilistik tidak hanya digunakan untuk menyusun formulasi matematis, tetapi juga telah menjadi bagian integral dalam proses pengambilan keputusan di bidang teknik, ekonomi, lingkungan, transportasi, dan perilaku manusia. Visualisasi *VOSviewer* menunjukkan konsistensi tema *model* dan *probability* sebagai pusat konseptual sekaligus menghubungkan antar subtema yang terus berkembang.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa teori probabilitas lanjut telah berkembang menjadi pilar utama dalam pengembangan *model* statistik modern. Berdasarkan analisis terhadap 25 artikel ilmiah, ditemukan bahwa istilah seperti *model*, *probability*, dan *distribution* menempati posisi sentral dalam jaringan konseptual. Kajian ini juga menemukan bahwa penggunaan distribusi multi-parametrik, metode *Probability of Detection (POD)*, dan pendekatan hibrid dalam sistem transportasi semakin menegaskan peran probabilitas dalam menjawab kebutuhan analisis ketidakpastian yang lebih kompleks. Dominasi kata kunci tersebut dalam visualisasi kepadatan dan *overlay* mengonfirmasi bahwa probabilitas menjadi landasan pengembangan *model* yang presisi dan aplikatif di berbagai sektor. Implikasi dari temuan ini mengarah pada perlunya integrasi teori probabilitas dalam penelitian interdisipliner, seperti teknik sipil, lingkungan, dan perilaku manusia. Meningkatnya perhatian terhadap istilah seperti *reaction time* dan *stack effect* pada publikasi tahun 2024–2025 menunjukkan adanya pergeseran arah riset menuju topik-topik kontemporer yang lebih aplikatif dan berbasis simulasi teknis. Hal ini menjadi peluang strategis bagi pengembangan *model* statistik berbasis probabilitas yang mampu menjawab tantangan ketidakpastian dalam skala mikro maupun makro, baik dalam prediksi kebijakan publik, risiko industri, maupun desain infrastruktur. Penelitian ini menyarankan agar studi lanjutan tidak hanya fokus pada eksplorasi distribusi dan parameterisasi, tetapi juga mengeksplorasi lebih dalam potensi integrasi teori probabilitas dengan sistem komputasi adaptif dan kecerdasan buatan. Kajian masa depan dapat diarahkan pada pengembangan kerangka probabilistik yang responsif terhadap dinamika data *real-time* serta mampu menangani sistem kompleks dengan ketidakpastian tinggi. Probabilitas tidak hanya menjadi alat hitung statistik, melainkan pendekatan epistemologis dalam memahami dan mengendalikan fenomena yang tidak pasti dalam era data modern.

5. Daftar Pustaka

- Abd Elgawad, M. A., Alghamdi, S. M., Khashab, R. H., Alshawarbeh, E., Almetwally, E. M., & Elgarhy, M. (2025). Statistical analysis of disability: Utilizing the modified kies power unit inverse Lindley model. *Alexandria Engineering Journal*, 126, 181-195.
- Bera, B., Saha, S., & Bhattacharjee, S. (2020). Forest cover dynamics (1998 to 2019) and prediction of deforestation probability using binary logistic regression (BLR) model of Silabati watershed, India. *Trees, Forests and People*, 2, 100034.

- Chandra, A., & Verma, A. (2025). To delay or not to delay? A hybrid relationship between departure delay, en-route conflict probability, and number of conflicts. *Journal of the Air Transport Research Society*, 4, 100053.
- Chen, H. H., Lu, H. H. S., Weng, W. H., & Lin, Y. H. (2023). Developing a machine learning algorithm to predict the probability of medical staff work mode using human-smartphone interaction patterns: algorithm development and validation study. *Journal of Medical Internet Research*, 25, e48834.
- Chouhan, R., Dhamaniya, A., Rao, A. M., & Gupta, K. (2025). Quantifying the relationship between auditory distractions, reaction time, and crash probability. *LATSS Research*, 49(1), 60-71.
- Elbatal, I., Sarwar, M., Jamal, F., Daniyal, M., Hussain, Z., & Ghorbal, A. B. (2025). Modelling on gross domestic product annual growth rate data by using time series, machine learning, and probability models. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 18(2), 101481.
- Halstensen, T. D., Hardeland, C., Ghanima, W., Grøndahl, V. A., Hubin, A., & Tavoly, M. (2024). Development and internal validation of a simple clinical score for the estimation of the probability of deep vein thrombosis in outpatient emergency department patients. *Research and Practice in Thrombosis and Haemostasis*, 8(8), 102608. <https://doi.org/10.1016/j.rpth.2024.102608>.
- Han, C., & Xu, Z. (2023). Prediction and output estimation of pattern moving in non-Newtonian mechanical systems based on probability density evolution. *CMES - Computer Modeling in Engineering and Sciences*, 139(1), 515–536. <https://doi.org/10.32604/cmes.2023.043464>.
- Hosseinian, S., Hemmati, M., Dede, C., Salzillo, T. C., van Dijk, L. v., Mohamed, A. S. R., Lai, S. Y., Schaefer, A. J., & Fuller, C. D. (2024). Cluster-based toxicity estimation of osteoradionecrosis via unsupervised machine learning: Moving beyond single dose-parameter normal tissue complication probability by using whole dose-volume histograms for cohort risk stratification. *International Journal of Radiation OncologyBiologyPhysics*, 119(5), 1569–1578. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2024.02.021>.
- Ingman, N., Voytolovskiy, N., Kurakova, O., & Mezina, N. (2022). Estimate the probability of default of a transport company with limited statistical information. *Transportation Research Procedia*, 63, 1561–1568. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.168>.
- Jena, R., Shanableh, A., Al-Ruzouq, R., Pradhan, B., Gibril, M. B. A., Khalil, M. A., Ghorbanzadeh, O., & Ghamisi, P. (2023). Earthquake spatial probability and hazard estimation using various explainable AI (XAI) models at the Arabian peninsula. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 31, 101004. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101004>.
- Kassem, Y., Gökçekuş, H., Çamur, H., & Esenel, E. (2021). Statistical analysis and determination of best-fit probability distribution for monthly rainfall in Northern Cyprus. *Desalination and Water Treatment*, 215, 347–379. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.26556>.
- Kim, S., & Lee, S. (2022). Optimal Bayesian MCMC based fire brigade non-suppression probability model considering uncertainty of parameters. *Nuclear Engineering and Technology*, 54(8), 2941–2959. <https://doi.org/10.1016/j.net.2022.03.015>.

- Lai, T.-Y., Hu, Y.-W., Wang, T.-H., Chen, J.-P., Shiau, C.-Y., Huang, P.-I., Lai, I.-C., Liu, Y.-M., Huang, C.-C., Tseng, L.-M., Huang, N., & Liu, C.-J. (2024). Estimating the risk of major adverse cardiac events following radiotherapy for left breast cancer using a modified generalized Lyman normal-tissue complication probability model. *The Breast*, *77*, 103788. <https://doi.org/10.1016/j.breast.2024.103788>.
- Liang, K., Liu, J., Al-Rashidi, N., Odhah, O. H., & Alshahrani, M. A. (2025). A modified sine–cosine probability distribution: Its mathematical features with statistical modeling in sports and reliability prospects. *Alexandria Engineering Journal*, *121*, 414–425. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2025.02.051>.
- Menéndez Orellana, A. E., Mendler, A., Schmid, S., & Grosse, C. U. (2025). Predictive probability of detection curves for ultrasonic testing. *NDT & E International*, *153*, 103346. <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2025.103346>.
- Morgunov, A., Karminsky, A., & Tarnovskaya, P. (2024). The development of an ESG-rating model to assess the probability of default of corporate borrowers. *Procedia Computer Science*, *242*, 992–999. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.08.247>.
- Park, Y. I., Cho, M. S., Chang, J. S., Kim, J. S., Kim, Y. B., Lee, I. J., ... & Choi, S. H. (2024). Normal tissue complication probability models of hypothyroidism after radiotherapy for breast cancer. *Clinical and Translational Radiation Oncology*, *45*, 100734.
- Radford, D. A., Maier, H. R., van Delden, H., Zecchin, A. C., & Jeanneau, A. (2024). Predicting burn probability: Dimensionality reduction strategies enable accurate and computationally efficient metamodeling. *Journal of Environmental Management*, *371*, 123086.
- Radonic, S., Besserer, J., Meier, V., Bley, C. R., & Schneider, U. (2021). A novel analytical population tumor control probability model includes cell density and volume variations: Application to canine brain tumor. *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*, *110*(5), 1530–1537.
- Shen, Y., Xiang, H., Li, J., & Chen, Z. (2025). On the development and implications of a new probabilistic model in financial and supply chain management. *Alexandria Engineering Journal*, *121*, 402–413.
- Tymińska-Czabańska, L., Janiec, P., Hawryło, P., Ślopek, J., Zielonka, A., Netzel, P., ... & Socha, J. (2024). Modeling the effect of stand and site characteristics on the probability of mistletoe infestation in Scots pine stands using remote sensing data. *Forest Ecosystems*, *11*, 100191.
- Xie, C., Yang, Y., Li, Q., Yu, X., Wang, Z., Bai, B., ... & Guo, Y. (2025). Accessing the stack effect in high-rise buildings by the probability method based on climate demarcation: A case study in China. *Energy and Built Environment*.
- Yamashita, N., Ohnuki, Y., Iwahashi, J., & Imaya, A. (2024). National-scale mapping of soil-thickness probability in hilly and mountainous areas of Japan using legacy and modern soil survey. *Geoderma*, *446*, 116896.
- Yuan, H. (2025). A new statistical model with simulation study and reliability analysis of an audio and podcast tool. *Alexandria Engineering Journal*, *116*, 548–560. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.12.044>.