

JURNAL KONSTRUKSI DAN INFRASTRUKTUR

Teknik Sipil dan Perencanaan

SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW SISTEMATIS METODE PEMETAAN KERENTANAN BANJIR PERKOTAAN BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS STUDI KASUS WILAYAH KOTA MEDAN

Fasya Maharani

*Program Studi Teknik Sipil, Universitas Al-azhar Medan, Medan
Email Penulis Korespondensi : fasyamaharani46@gmail.com
Nomor HP Penulis Korespondensi : 082363877595*

ABSTRACT

Medan City, as one of Indonesia's major cities, faces an increasing flood threat driven by rapid population growth, the conversion of green open spaces, and an inadequate drainage system. This study aims to map flood-prone areas in Medan City using a Systematic Literature Review (SLR) approach. Data were collected from three major databases Scopus (1,502 articles), OpenAlex (880 articles), and Google Scholar (502 articles) yielding a total of 2,884 identified articles retrieved using three thematic keywords related to GIS-based flood mapping. Following a staged selection process comprising identification, screening, and eligibility assessment, 21 final articles were selected for in-depth review. The findings indicate that spatial mapping of flood-prone areas can be effectively conducted using GIS technology integrated with multi-criteria analysis methods such as the Analytic Hierarchy Process (AHP), Generalized Fuzzy AHP (GFAHP), and machine learning models. The main parameters used include elevation, slope gradient, rainfall, land use, distance from water bodies, and topographic wetness index. The analytical methods employed across the 21 selected articles were AHP, GFAHP, machine learning, and TOPSIS, with parameters comprising elevation, slope gradient, rainfall, land use, distance from water bodies, and topographic index.

Keywords: AHP, *flood-prone areas*, GIS, *spatial mapping*.

1. PENDAHULUAN

Medan dengan jumlah penduduk 2.524.341 jiwa, di saat era sekarang ini lebih mengutamakan pembangunan pada disain dan bentuk bangunan modren dan berteknologi canggih, serta pengembangan bisnis yang mengarah ke pembangunan real estate maupun highrise building yang memenuhi kebutuhan sarana dan prasarana tempat tinggal [1]

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki banyak potensi alam dan energi yang dapat dimanfaatkan untuk kesejahteraan manusia. Dengan curah hujan lebih dari 2000 milimeter per tahun, dan wilayah perairan laut Indonesia, yang berjumlah sekitar 6,4 juta km persegi (Sekretariat Kabinet Republik Indonesia, 2023) dimana hujan sering menjadi masalah banjir namun bisa terselesaikan bila dapat [2]

mengolahnya dengan teknologi panen air hujan Kehidupan Manusia di dunia ini tak terlepas dari air Dengan mengirimkan hujan ke Bumi, Tuhan telah memberikan banyak berkah kepada manusia namun nyatanya air hujan menjadi masalah rutin di kota karena daya serap bumi terhadap air (water recharge) tidak sebanding dengan curah hujan yang berakibat banjir [3]

Banjir perkotaan merupakan salah satu bencana alam yang paling sering terjadi dan paling merugikan secara ekonomi di seluruh dunia, dengan dampak yang semakin intensif akibat perubahan iklim [4]. Paparan banjir di daerah pedalaman terus meningkat, didorong oleh perubahan curah hujan dan pembangunan di dataran banjir. [5]

Perubahan pola curah hujan ini sangat memengaruhi daerah perkotaan, di mana sistem drainase yang tidak memadai dan permukaan yang tidak menyerap air meningkatkan risiko banjir [6]. Dalam beberapa tahun terakhir, banjir perkotaan semakin intensif karena pertumbuhan kota yang pesat, peningkatan kejadian cuaca ekstrem, dan sistem drainase perkotaan yang tidak memadai. Oleh karena itu, jelas bahwa studi lebih lanjut tentang bahaya dan risiko banjir perkotaan diperlukan [7].

Tingkat kerugian yang diakibatkan oleh bencana banjir tidak tersebar secara seragam di setiap lokasi. Pemodelan risiko banjir hadir sebagai salah satu pilar utama dalam pengurangan risiko bencana, dengan fungsi menekan kerentanan pada unsur-unsur yang berisiko sekaligus menjadi variabel kunci dalam membatasi dampak kerusakan hingga taraf tertentu [8]. Penilaian semacam itu dilakukan melalui beberapa ukuran ilmiah lainnya. Ketahanan terhadap banjir perkotaan (Urban Flood Resilience/UFR) telah banyak dipelajari, termasuk evaluasi risiko banjir, manajemen risiko banjir, strategi mitigasi, pengendalian dan tata kelola banjir, serta analisis kerentanan banjir [9]. Meskipun banjir tidak dapat sepenuhnya dikendalikan, kerusakan yang ditimbulkannya pada manusia dan harta benda dapat dikurangi dengan mengidentifikasi daerah rawan banjir dan faktor-faktor yang mempengaruhinya [10].

Pentingnya identifikasi zona rawan banjir menjadi langkah awal yang krusial dalam upaya mitigasi bencana. Dengan mengetahui potensi daerah yang paling terpengaruh oleh banjir, pihak berwenang dapat lebih efektif dalam merencanakan dan mengimplementasikan kebijakan pengurangan risiko tertentu [11]. Berdasarkan skenario perubahan iklim serta transformasi tata guna lahan di kawasan rentan banjir, luas area yang tergolong berisiko sedang sampai sangat tinggi diprediksi akan bertambah menjelang tahun 2050. Kondisi tersebut merupakan dampak langsung dari perubahan pola penggunaan lahan yang berlangsung seiring dengan pergeseran iklim [12]

Dari gap-gap penelitian tersebut, muncul beberapa pertanyaan penelitian yang menjadi fokus kajian ini

1. Metode analisis apa yang paling dominan digunakan dalam pemetaan spasial daerah rawan banjir perkotaan berbasis GIS?
2. Parameter apa saja yang paling dominan digunakan dalam menentukan tingkat kerentanan banjir berbasis GIS?
3. Apa gap penelitian utama yang teridentifikasi dari studi-studi terdahulu terkait pemetaan banjir berbasis GIS, khususnya dalam konteks Kota Medan?

2. METODE

Penelusuran literatur sistematis ini memberikan panduan bagi para peneliti dalam melakukan pekerjaan desain emosional komparatif [13]. Dalam penelitian ini, pendekatan Systematic Literature Review (SLR), digunakan untuk mengumpulkan dan menganalisis beragam studi, peneliti dapat memahami tren [14]. Referensi tersebut digunakan semata-mata sebagai rujukan metodologis, khususnya dalam penerapan prosedur SLR [15] dan analisis bibliometrik (misalnya tahapan identifikasi, penyaringan, dan visualisasijaringan sitasi), dan tidak menjadi bagian dari pembahasan substantif hasil kajian [16].

Tabel 1. Scopus Database Query

NO	QUARY	Jumlah Artikel
1	("flood-prone" OR "flood risk" OR "flood hazard" OR "flooding" OR "flood") AND ("geographic information systems" OR GIS OR "spatial analysis" OR "mapping" OR "geospatial")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Flooding") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Gis") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Floods") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Flood Control")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")) AND (	29

NO	QUARY	Jumlah Artikel
2	LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI")) ("GIS" OR "geographic information system" OR "geospatial") AND ("multi-criteria analysis" OR "multi-criteria decision making" OR "MCDM" OR "multi-attribute decision making") AND ("flood" OR "flooding" OR "flood risk" OR "flood hazard") AND ("prone areas" OR "vulnerable areas" OR "risk areas" OR "susceptible areas" OR "flood-prone" OR "flood-affected") AND (mapping OR "spatial analysis" OR "area mapping" OR "spatial mapping")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Decision Making") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Gis") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Floods") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Analytical Hierarchy Process") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Multicriteria Analysis")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")	14
3	(("GIS" OR "geographic information system" OR "geospatial" OR "mapping") AND ("evacuation point*" OR "evacuation route*" OR "shelter" OR "refuge") AND (flood* OR "flooding" OR "flood risk" OR "floodplain")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Floods") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Gis") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Geographic Information Systems") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Disasters") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Risk Assessment")	1.459

Berdasarkan Tabel 1 pencarian literatur dilakukan melalui database Scopus dengan menggunakan beberapa kombinasi kata kunci (query string) yang disesuaikan dengan topik penelitian, yaitu penggunaan Geographic Information System (GIS) dan Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) dalam pemetaan wilayah rawan banjir. Proses pencarian ini menghasilkan jumlah dokumen yang bervariasi pada setiap tahapannya, mulai dari 29 dokumen hingga 1.459 dokumen, tergantung pada tingkat spesifisitas kata kunci dan filter yang diterapkan, seperti subject area, bahasa, dan exact keyword.

Tabel 2. Hasil Pencarian Awal Artikel

Keyword string	scopus	OpenAles	Google scholar
Gis Utilization For Mapping Evacuation Points And Routes Flood-Prone Areas	29	200	500
Gis-Based Multi Criteria Analysis For Flood Prone Areas Mapping	14	350	1
Mapping Flood Prone Areas Using Geographic Information Systems	1.459	250	1
Total Articles	1.502	880	502

Selanjutnya, dari bermacam ragam artikel tersebut yang dihasilkan dari Tabel 2 di atas, peneliti akan memilih artikel-artikel yang paling relevan dengan topik penelitian melalui proses seleksi lebih lanjut, yaitu dengan menghilangkan artikel duplikat, artikel yang tidak dapat diakses secara penuh (full text), serta artikel yang tidak sesuai dengan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Kriteria inklusi dan eksklusi yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3 untuk memastikan bahwa pemilihan artikel dilakukan secara sistematis

Tabel 3. Hasil Seleksi Artikel Berupa Hasil Kriteria Inklusi Dan Kriteria Eksklusi

Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
Menggunakan Metode Gis	Tidak menggunakan metode GIS
Topik Pemetaan Banjir Perkotaan	Bukan area perkotaan
Tahun Terbit 2021-2026	Data tidak terbuka / tidak valid

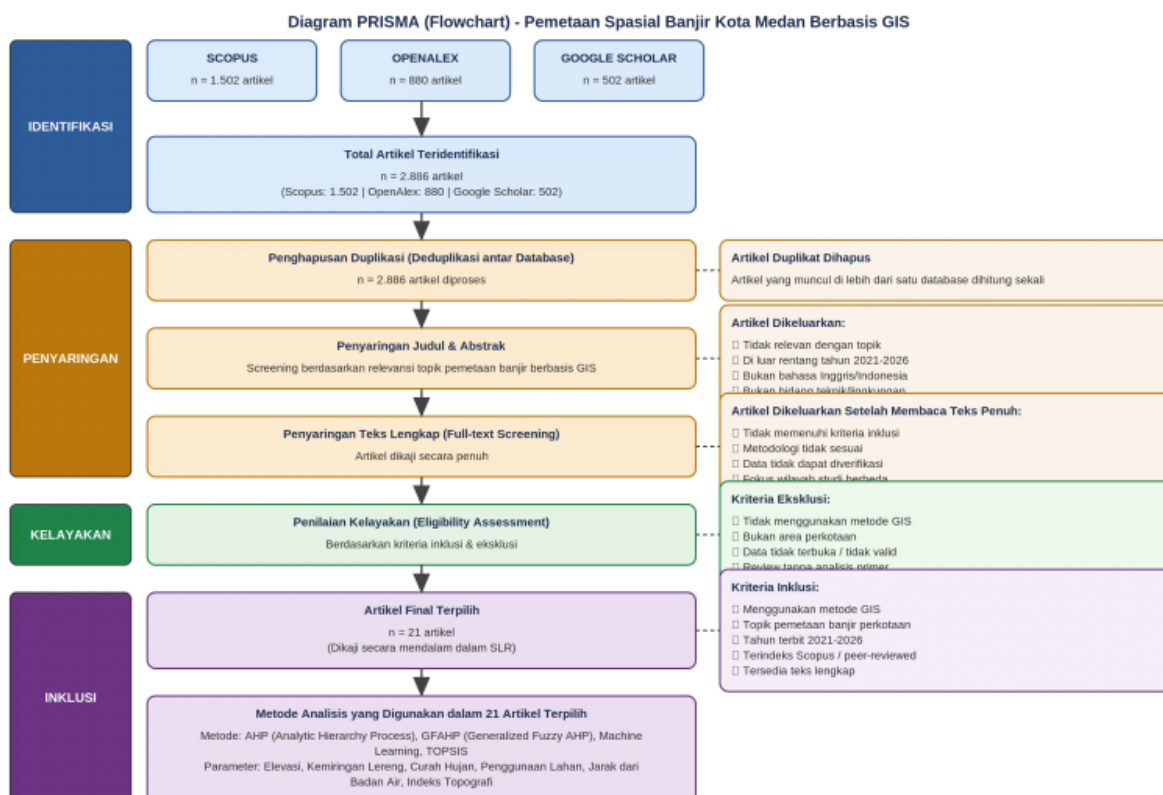
Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
Terindeks Scopus / Peer-Reviewed Tersedia Teks Lengkap	Review tanpa analisis primer Tidak memenuhi kriteria inklusi / metodologi tidak sesuai / fokus wilayah berbeda

Dari keseluruhan artikel yang diperoleh pada Tabel 3, peneliti kemudian melakukan proses seleksi bertahap untuk memastikan hanya artikel yang relevan dan berkualitas yang digunakan dalam penelitian ini. Proses seleksi tersebut meliputi identifikasi duplikasi, pemeriksaan judul dan abstrak, serta penilaian kelayakan (eligibility) berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditentukan sebelumnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Diagram Prisma (Flow Chart)

Artikel yang telah dapat dipolakan pada tahap visualisasi untuk selanjutnya perlu dilakukan pemfilteran melalui proses seleksi, evaluasi, dan eksklusi menggunakan pedoman Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analysis (PRISMA) flow diagram [17]



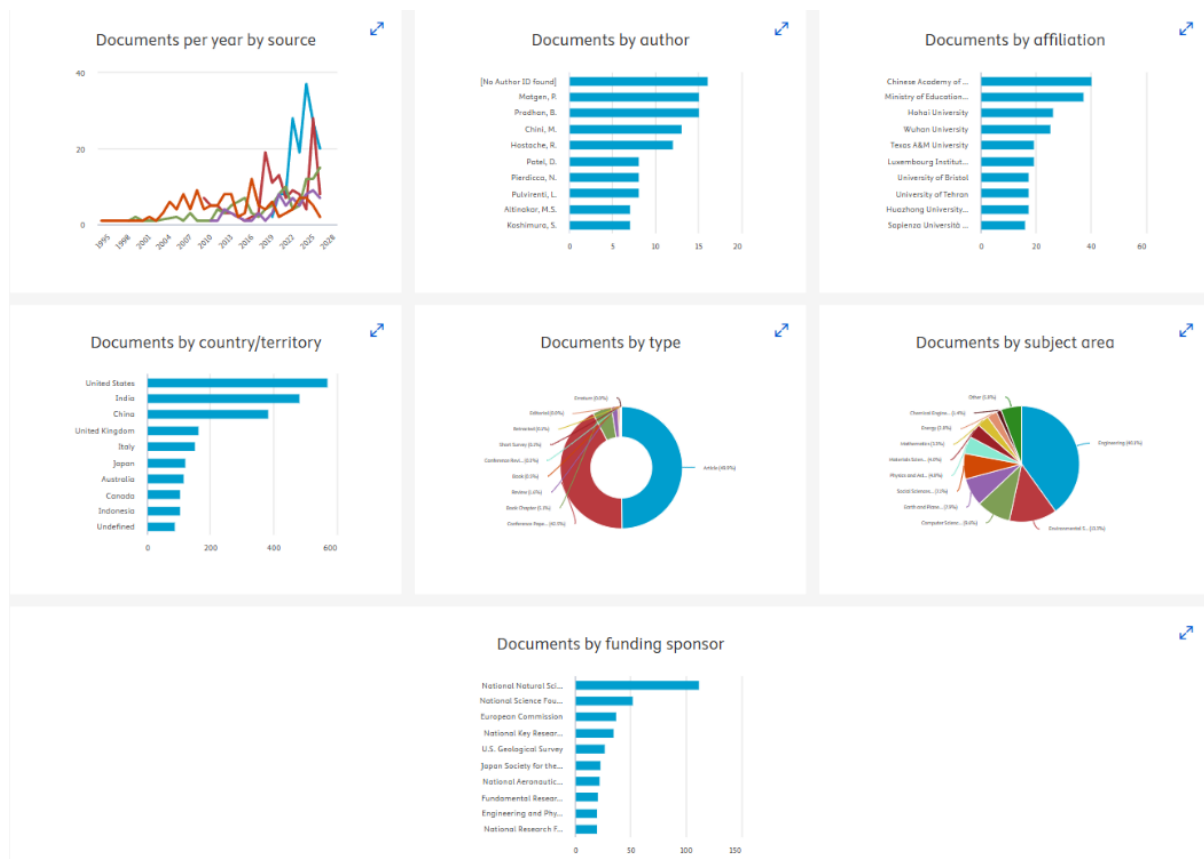
Gambar 1. Diagram PRISMA Seleksi Artikel Pemetaan Spasial Banjir Kota Medan Berbasis GIS

Pada gambar 1 diagram atas memperlihatkan gimana proses seleksi artikel dilakukan tahap demi tahap, mulai dari pencarian awal di tiga database (Scopus, OpenAlex, dan Google Scholar) yang totalnya mencapai 2.886 artikel, sampai akhirnya cuma tersisa 21 artikel yang benar-benar layak dikaji secara mendalam. Di setiap tahap, ada artikel yang gugur karena berbagai alasan, mulai dari duplikat, nggak relevan sama topik, sampai yang metodologinya nggak sesuai. Proses penyaringan yang ketat ini penting banget supaya hasil akhirnya benar-benar kredibel dan bebas dari bias, karena semua artikel yang lolos sudah melewati pengecekan berlapis sesuai standar PRISMA 2020. Dengan begitu, 21 artikel yang terpilih

ini bisa dijadikan dasar yang kuat buat menganalisis metode dan parameter yang paling sering dipakai dalam pemetaan banjir berbasis GIS.

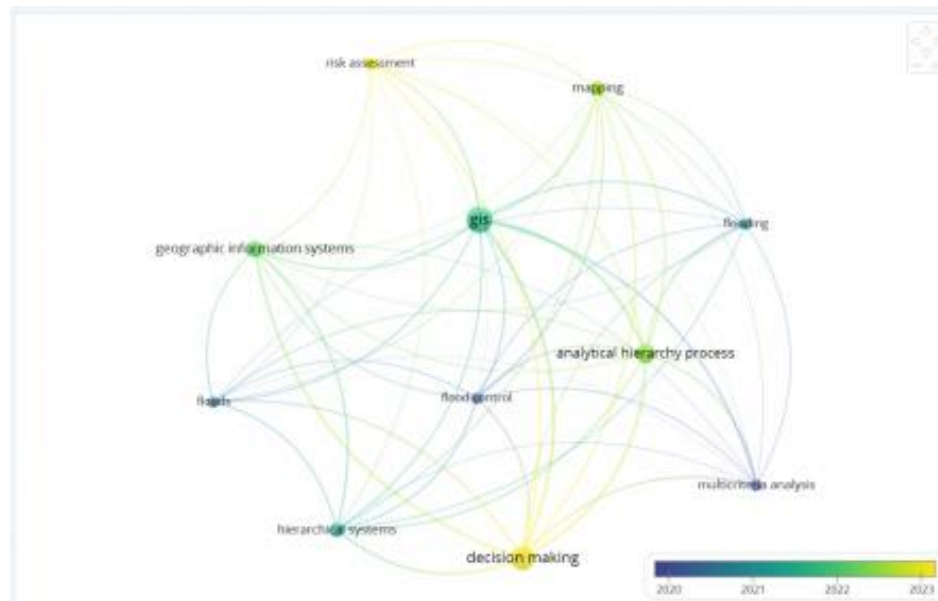
3.2 Analisis tren/visualisasi pada database Scopus

Penelitian ini mengadopsi pendekatan deskriptif kualitatif dengan menggunakan metode literatur review. Penelitian ini memanfaatkan database Scopus sebagai sumber utama untuk mencari artikel. Scopus dipilih karena dianggap sebagai sumber yang paling relevan, karena menyediakan alat untuk melacak, menganalisis, dan memvisualisasikan pencarian data dari database artikel. Proses pengumpulan, pengklasifikasian, dan pemetaan berbagai sumber penelitian melalui database Scopus dilakukan secara objektif dengan melaksanakan serangkaian prosedur pencarian dan penelaahan yang mendalam melalui berbagai langkah atau tahapan penyaringan. [18]



Gambar 2. Tren Hasil Jumlah Dokumen Berdasarkan Data Scopus

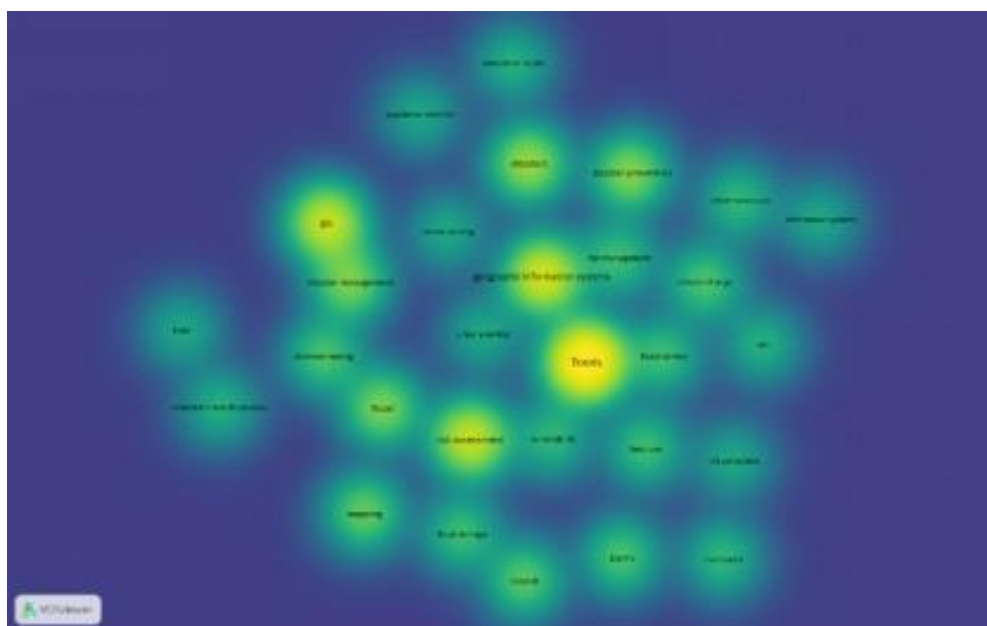
Dari hasil gambar 2 diatas analisis bibliometrik yang ditampilkan Scopus di atas, kelihatan beberapa hal menarik soal tren penelitian ini. Dari sisi jumlah dokumen per tahun, publikasi soal topik ini cenderung naik-turun tapi mengalami lonjakan cukup signifikan di beberapa tahun terakhir, nunjukkin kalau isu ini makin banyak dilirik peneliti. Dari sisi negara asal penulis, Amerika Serikat jadi kontributor paling banyak, disusul India, Tiongkok, dan Inggris, sementara Indonesia sendiri masih ada di posisi yang belum terlalu dominan dibanding negara-negara tersebut. Kalau dilihat dari jenis dokumen, mayoritas publikasi berupa artikel jurnal (article), sedangkan sisanya conference paper dan jenis lain jumlahnya jauh lebih sedikit. Untuk bidang ilmu, penelitian ini paling banyak masuk ke ranah Engineering dan Environmental Science, yang emang sejalan sama fokus topik pemetaan banjir berbasis GIS. Selain itu, pendanaan riset di bidang ini juga banyak didukung oleh lembaga-lembaga besar seperti National Natural Science Foundation, yang nunjukkin topik ini emang jadi perhatian serius secara global



Gambar 4. Overlay Visualization

3.4 VOSviewer Density Visualization

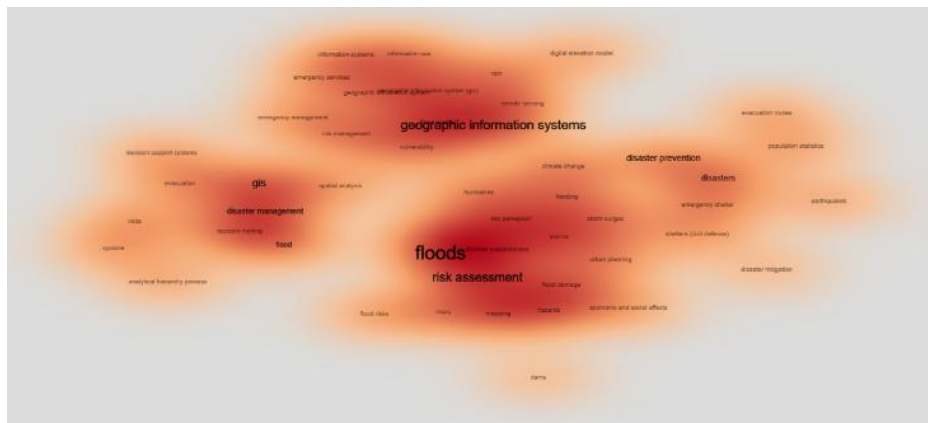
Menunjukkan pola co-occurrence antar kata kunci yang muncul dalam artikel-artikel yang dikaji. Warna kuning mengindikasikan kata kunci dengan frekuensi kemunculan dan tingkat keterkaitan tertinggi terhadap kata kunci lain di sekitarnya, sedangkan warna hijau hingga biru menunjukkan frekuensi dan kekuatan keterkaitan yang lebih rendah. Berdasarkan visualisasi tersebut, terlihat bahwa istilah "Flood" dan "GIS" menjadi kata kunci dominan yang berada di area dengan intensitas warna tertinggi, mengindikasikan bahwa kedua istilah tersebut paling sering muncul bersamaan dengan kata kunci lain seperti risk, land use, vulnerability, dan climate change. Kedekatan posisi antar-kata kunci pada peta ini mencerminkan kuatnya hubungan tematik antar-istilah tersebut dalam literatur yang dikaji, sekaligus menegaskan bahwa penelitian mengenai pemetaan banjir berbasis GIS sangat erat kaitannya dengan kajian risiko, tata guna lahan, dan kerentanan wilayah.



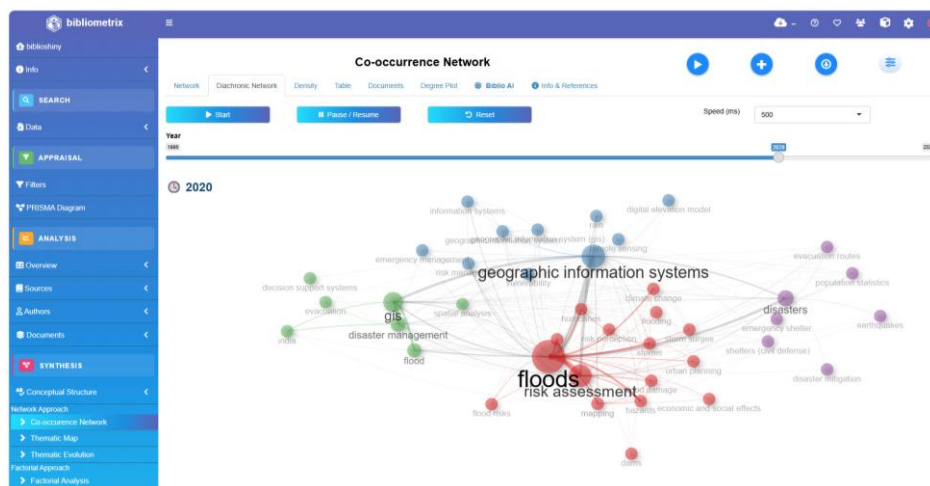
Gambar 5. Density Visualization

3.5 Bibliometrik

Dalam analisis bibliometrik, agar diperoleh hasil data literatur yang akurat, peneliti memilih kata kunci yang dapat merepresentasikan literasi digital dan remaja. Oleh sebab itu, “Flood” dan “Geographic Informations Systems” dipilih untuk menjadi fokus penelitian ini. Penelusuran publikasi dilakukan pada database Scopus melalui penelusuran pada judul artikel, abstrak, dan juga kata kunci. Peneliti memilih penggunaan kata kunci berbahasa Inggris agar dapat menjangkau publikasi yang lebih luas. Scopus dipilih sebagai database untuk pencarian literatur karena kredibilitasnya yang sudah diakui sebagai database literatur terbesar di dunia yang mampu menyediakan abstrak dan penelitian yang telah ditelaah secara rinci [21]



Gambar 6. Hasil bibliometrix Network Approach Co-Occurance “Degree Plot”



Gambar 5. Hasil bibliometrix Network Approach Co-Occurance “Diachronic Network”

3.6 Reasearch Gap

Berdasarkan kajian terhadap 12 artikel substantif yang membahas banjir, kerentanan risiko banjir, dan pemetaan spasial, teridentifikasi bahwa hampir seluruh studi terdahulu diterapkan pada konteks wilayah lain, baik di negara maju. Tiongkok, maupun kota lain di Indonesia seperti Tangerang, sehingga belum ada penelitian yang secara khusus mengintegrasikan karakteristik lokal Kota Medan seperti kondisi drainase perkotaan, topografi dataran rendah dan pesisir, serta kepadatan jalan ke dalam satu model pemetaan kerentanan banjir berbasis GIS yang tervalidasi. Selain itu, metode Generalized Fuzzy AHP

(GFAHP) yang berpotensi meningkatkan akurasi penilaian multi-kriteria juga belum banyak diterapkan secara langsung, dan dimensi kerentanan sosial-ekonomi masyarakat setempat belum diintegrasikan secara eksplisit dengan model spasial-teknis yang ada.

Tabel 4. Tabel research gap yang diidentifikasi hanya dari artikel-artikel substantif yang membahas topik banjir

No	Penulis & Tahun	Fokus Penelitian	Metode	Temuan Utama	Research Gap (Celah Penelitian)
1	Masyarakat dkk. (2022)	Pengaruh kualitas bangunan dan kondisi lingkungan terhadap partisipasi masyarakat di Kota Medan	Survei deskriptif kuantitatif	Pembangunan modern dan bisnis real estate/highrise building meningkat pesat di Kota Medan	Mengkaji dampak alih fungsi lahan akibat pembangunan tersebut terhadap kerentanan banjir secara spasial
2	Batu, Pohan & Kabupaten (2025)	Potensi sumber daya alam dan energi serta curah hujan tinggi di Indonesia	Studi deskriptif	Curah hujan >2.000 mm/tahun berpotensi menimbulkan banjir bila tidak dikelola dengan teknologi panen air hujan	Menggunakan pendekatan GIS/spasial untuk memetakan wilayah yang berisiko terdampak curah hujan tinggi tersebut
3	Zufri Hasrudy Siregar (2023)	Hubungan air hujan dengan daya serap tanah (water recharge) perkotaan	Kajian konseptual/deskriptif	Ketidakseimbangan antara daya serap tanah dan curah hujan menjadi pemicu utama banjir rutin di kota	Adanya pemodelan spasial berbasis GIS untuk mengukur dan memvisualisasikan kapasitas water recharge per wilayah
4	Sen Gupta, Mahmud & Gupta (2026)	Pipeline analitik prediktif untuk respons banjir bandang (flash flood) perkotaan	Prescriptive analytics / pemodelan prediktif	Pendekatan analitik terkalibrasi mampu menghasilkan respons banjir yang lebih actionable	Studi berskala internasional/global, belum diuji pada konteks morfologi dan drainase kota tropis seperti Medan
5	Tate, Rahman, Emrich, Sampson & Tate (2021)	Eksposur banjir dan kerentanan sosial di Amerika Serikat	Analisis kuantitatif kerugian dan kerentanan sosial	Peningkatan eksposur banjir berdampak pada kenaikan rata-rata kerugian ekonomi tahunan	Fokus pada konteks negara maju (AS); belum mengintegrasikan dimensi kerentanan sosial-ekonomi pada kota berkembang seperti Medan
6	Dharmarathne, Waduge, Bogawaththa, Rathnayake & Meddage (2024)	Adaptasi kota terhadap banjir akibat perubahan iklim (tinjauan komprehensif)	Literature review komprehensif	Sistem drainase tidak memadai dan permukaan kedap air meningkatkan risiko banjir perkotaan	Bersifat tinjauan umum global; tidak memberikan studi kasus spasial spesifik pada satu kota beriklim tropis
7	Rafiei-Sardooi, Azareh, Choubin, Mosavi & Clague (2021)	Evaluasi risiko banjir perkotaan menggunakan metode hybrid TOPSIS dan	TOPSIS + Machine Learning	Kombinasi metode multi-kriteria dan machine learning efektif menilai risiko banjir perkotaan	Diterapkan pada wilayah studi berbeda; parameter lokal Kota Medan (drainase, banjir perkotaan

No	Penulis & Tahun	Fokus Penelitian	Metode	Temuan Utama	Research Gap (Celah Penelitian)
		machine learning			topografi pesisir) belum diuji dengan metode ini
8	Tariq, Yan, Ghaffar, Qin, Mousa & Sharifi (2022)	Penilaian kerentanan banjir bandang melalui integrasi AHP dan Frequency Ratio	AHP + Frequency Ratio	Integrasi AHP dan Frequency Ratio mampu mengurangi kerusakan akibat banjir hingga batas tertentu	Belum dikombinasikan dengan pendekatan Fuzzy AHP/GFAHP maupun diujicobakan pada karakteristik banjir perkotaan dataran rendah seperti Medan
9	Zhu, Li, Feng & Zhang (2023)	Faktor dan mekanisme ketahanan banjir perkotaan (Urban Flood Resilience) di Tiongkok	Analisis sistem sosial-ekonomi-ekologi kompleks	Ketahanan banjir perkotaan mencakup evaluasi risiko, manajemen risiko, mitigasi, dan tata kelola banjir	Konteks studi di Tiongkok; indikator ketahanan banjir belum disesuaikan dengan karakteristik sosial-ekologis Kota Medan
10	Rahman dkk. (2021)	Hubungan banjir dengan perubahan tutupan lahan, pertumbuhan penduduk, dan kepadatan jalan	Analisis spasial perubahan lahan	Identifikasi daerah rawan banjir dan faktor penyebabnya dapat mengurangi kerusakan akibat banjir	Belum mengintegrasikan parameter kepadatan jalan dan tutupan lahan tersebut ke dalam model AHP/GFAHP berbasis GIS
11	Tsiqoyati, Ferdiyansyah & Rizki (t.t.)	Analisis kerentanan banjir di Kota Tangerang berbasis data geospasial	Analisis data geospasial untuk perencanaan tata ruang	Identifikasi zona rawan banjir penting sebagai langkah awal mitigasi bencana dan kebijakan tata ruang	Studi kasus terbatas pada Kota Tangerang; belum ada studi serupa yang representatif untuk karakteristik banjir Kota Medan
12	Janizadeh dkk. (2021)	Variabilitas spasial-temporal bahaya banjir akibat perubahan iklim dan tata guna lahan di masa depan	Pemodelan spasial-temporal berbasis skenario iklim	Daerah berisiko sedang-sangat tinggi diproyeksikan meningkat signifikan hingga tahun 2050	Proyeksi dilakukan pada wilayah studi lain; belum ada proyeksi serupa untuk Kota Medan dengan data iklim dan tata guna lahan lokal

Berdasarkan uraian dua belas penelitian terdahulu pada tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa kajian mengenai banjir perkotaan telah berkembang dari berbagai sudut pandang, mulai dari aspek pembangunan fisik dan alih fungsi lahan, curah hujan dan daya serap tanah (water recharge), hingga penerapan metode analitik lanjutan seperti Analytical Hierarchy Process (AHP), Frequency Ratio, Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). Dan machine learning untuk menilai risiko serta ketahanan banjir. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut dilaksanakan pada wilayah studi dengan karakteristik geografis, iklim, dan sistem drainase yang berbeda dari Kota Medan, seperti Amerika Serikat, Tiongkok, Kota Tangerang, maupun pada skala kajian global, sehingga hasil dan indikatornya belum tentu relevan bila diterapkan secara langsung pada konteks Kota Medan.

Di samping itu, pendekatan analisis spasial berbasis Geographic Information System (GIS) yang dipadukan dengan metode multi-kriteria, khususnya Fuzzy AHP atau Geospatial Fuzzy Analytical Hierarchy Process (GFAHP), belum banyak diterapkan secara spesifik untuk memetakan tingkat

kerentanan banjir di Kota Medan dengan mempertimbangkan karakteristik lokal, seperti topografi dataran rendah, morfologi sungai, kepadatan penduduk, kepadatan jalan, perubahan tutupan lahan, serta kapasitas drainase perkotaan. Beberapa penelitian juga baru membahas faktor penyebab banjir secara parsial atau konseptual, tanpa disertai pemodelan spasial yang dapat memvisualisasikan sebaran wilayah rawan banjir secara terukur.

Dengan demikian, terdapat celah penelitian (research gap) yang perlu diisi, yaitu belum adanya kajian yang secara khusus mengintegrasikan pendekatan GIS dengan metode AHP/GFAHP untuk menganalisis dan memetakan kerentanan banjir di Kota Medan secara spasial dan komprehensif. Penelitian ini diharapkan dapat mengisi celah tersebut dengan memberikan kontribusi baik secara teoritis, melalui pengembangan indikator kerentanan banjir yang disesuaikan dengan karakteristik sosial-ekologis Kota Medan, maupun secara praktis, melalui penyediaan peta kerentanan banjir yang dapat dimanfaatkan sebagai dasar perumusan kebijakan mitigasi bencana di wilayah perkotaan tropis.

3.7 Integrasi Data Historis BPBD sebagai Ground-Truth Layer dalam GIS-AHP Kontribusi Orisinal Penelitian Ini:

- a. Data historis kejadian banjir BPBD (titik koordinat genangan, frekuensi kejadian, kedalaman genangan per kecamatan) diintegrasikan sebagai lapisan verifikasi spasial dalam kerangka GIS-AHP.
- b. Bobot parameter AHP dikalibrasi ulang berdasarkan korelasi antara nilai parameter fisik dengan frekuensi kejadian banjir aktual menghasilkan bobot yang evidence-based, bukan semata opini ahli.
- c. Menghasilkan peta kerawanan yang memiliki akurasi lebih tinggi karena mencerminkan kondisi nyata di lapangan, bukan hanya prediksi berbasis model fisik.

3.8 Penerapan Metode GFAHP (Generalized Fuzzy AHP) sebagai Pengganti AHP Konvensional

Metode ini memiliki kelemahan mendasar: tidak mampu menangani ketidakpastian dan ambiguitas dalam penilaian para ahli (expert judgment), yang pada kenyataannya selalu mengandung unsur ketidakpastian linguistik (misalnya: 'sedikit lebih penting', 'jauh lebih penting'). Kontribusi Orisinal Penelitian Ini:

- a. Menerapkan GFAHP (Generalized Fuzzy Analytic Hierarchy Process) yang menggabungkan Teori Himpunan Fuzzy dengan AHP untuk mengekspresikan penilaian ahli dalam bentuk Triangular Fuzzy Numbers (TFN), bukan nilai skalar tunggal.
- b. Menghasilkan bobot parameter yang lebih akurat, representatif, dan tahan terhadap bias penilaian subjektif melalui defuzzifikasi nilai fuzzy menjadi crisp weight.
- c. Menerapkan uji konsistensi ganda: Consistency Ratio (CR) standar AHP dan uji konsistensi berbasis fuzzy, sehingga validitas pembobotan lebih terjamin secara ilmiah

4. KESIMPULAN

Kajian terhadap 12 artikel substantif yang membahas banjir, kerentanan/risiko banjir, dan pemetaan spasial menjawab pertanyaan penelitian mengenai pendekatan yang paling efektif untuk memetakan kerentanan banjir perkotaan, yaitu melalui analisis multi-kriteria yang diintegrasikan dengan Sistem Informasi Geografis (GIS). Metode yang paling dominan digunakan adalah Analytic Hierarchy Process (AHP), baik secara tunggal maupun dikombinasikan dengan Frequency Ratio, TOPSIS, atau model machine learning. Generalized Fuzzy AHP (GFAHP) belum diterapkan secara langsung pada artikel-artikel yang dikaji, namun secara konsisten muncul sebagai arah pengembangan metodologis yang direkomendasikan.

Parameter yang paling dominan dan konsisten digunakan sebagai faktor penentu kerentanan banjir meliputi curah hujan, tutupan/penggunaan lahan, kepadatan jalan, elevasi, kemiringan lereng, dan jarak dari badan air. Parameter-parameter tersebut merepresentasikan interaksi antara faktor hidrologis (curah hujan dan drainase) dengan faktor antropogenik (perubahan tutupan lahan dan pertumbuhan penduduk) dalam membentuk pola kerentanan banjir di kawasan perkotaan.

Gap penelitian utama yang teridentifikasi adalah bahwa hampir seluruh artikel yang dikaji diterapkan pada konteks wilayah studi lain, baik negara maju, maupun kota lain di Indonesia seperti Tangerang. Sehingga belum ada studi yang secara khusus mengintegrasikan karakteristik lokal Kota Medan drainase perkotaan, topografi dataran rendah dan pesisir, serta kepadatan jalan ke dalam satu model pemetaan kerentanan banjir berbasis GIS yang tervalidasi. Dimensi kerentanan sosial-ekonomi masyarakat setempat juga belum diintegrasikan secara eksplisit dengan model spasial teknis yang tersedia.

Berdasarkan temuan tersebut, penelitian lanjutan direkomendasikan untuk:

1. mengembangkan model integrasi GIS dengan GFAHP atau kombinasi AHP machine learning yang disesuaikan dengan karakteristik banjir Kota Medan
2. memasukkan parameter kepadatan jalan dan tutupan lahan secara eksplisit ke dalam model multi-kriteria
3. mengintegrasikan dimensi kerentanan sosial-ekonomi masyarakat ke dalam peta kerentanan banjir teknis
4. melakukan validasi lapangan terhadap hasil pemetaan agar dapat digunakan sebagai dasar kebijakan mitigasi bencana dan perencanaan tata ruang Kota Medan yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Masyarakat, P. Bangunan, K. Medan, M. Pada, and B. Bersejarah, "Pengaruh Kualitas Bangunan dan Kondisi Lingkungan Terhadap TALENTA Conference Series Pengaruh Kualitas Bangunan dan Kondisi Lingkungan Terhadap Partisipasi," vol. 5, no. 1, 2022, doi: 10.32734/ee.v5i1.1495.
- [2] D. Batu, R. Kecamatan, P. Pohan, and M. Kabupaten, "9 1,3,4," vol. 4, no. 1, pp. 264–269, 2025, doi: 10.54123/deputi.v4i1.325.
- [3] B. Juli, "No Title," vol. 3, no. 2, pp. 219–225, 2023, doi: 10.54123/deputi.v3i2.276.
- [4] H. Sen Gupta, S. Mahmud, and A. Gupta, "From calibrated risk to actionable response : A prescriptive analytics pipeline for urban flash floods," *Resilient Cities Struct.*, vol. 5, no. 2, pp. 111–125, 2026, doi: 10.1016/j.rcns.2026.03.005.
- [5] E. Tate, A. Rahman, C. T. Emrich, C. C. Sampson, and E. Tate, "Flood exposure and social vulnerability in the United States mitigation," *Nat. Hazards*, vol. 106, no. 1, pp. 435–457, 2021, doi: 10.1007/s11069-020-04470-2.
- [6] G. Dharmarathne, A. O. Waduge, M. Bogahawaththa, U. Rathnayake, and D. P. P. Meddage, "Results in Engineering Adapting cities to the surge : A comprehensive review of climate-induced urban flooding," *Results Eng.*, vol. 22, no. January, p. 102123, 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.102123.
- [7] E. Raffei-sardooi, A. Azareh, B. Choubin, A. H. Mosavi, and J. J. Clague, "International Journal of Disaster Risk Reduction Evaluating urban flood risk using hybrid method of TOPSIS and machine learning," *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 66, no. November 2020, p. 102614, 2021, doi: 10.1016/j.ijdrr.2021.102614.
- [8] A. Tariq, J. Yan, B. Ghaffar, S. Qin, B. G. Mousa, and A. Sharifi, "Flash Flood Susceptibility Assessment and Zonation by Integrating Analytic Hierarchy Process and Frequency Ratio," 2022.
- [9] S. Zhu, D. Li, H. Feng, and N. Zhang, "The influencing factors and mechanisms for urban flood resilience in China : From the perspective of social-economic-natural complex ecosystem," *Ecol. Indic.*, vol. 147, no. January, p. 109959, 2023, doi: 10.1016/j.ecolind.2023.109959.
- [10] M. Rahman *et al.*, "Geoscience Frontiers Flooding and its relationship with land cover change , population growth , and road density," *Geosci. Front.*, vol. 12, no. 6, p. 101224, 2021, doi: 10.1016/j.gsf.2021.101224.
- [11] L. Tsiqoyati, R. Ferdiansyah, and M. Rizki, "Analisis Kerentanan Banjir di Kota Tangerang : Pendekatan Berbasis Data Geospasial untuk Pengambilan Keputusan dalam Perencanaan Tata Ruang Berkelanjutan".
- [12] S. Janizadeh *et al.*, "Mapping the spatial and temporal variability of flood hazard affected by

- climate and land-use changes in the future,” *J. Environ. Manage.*, vol. 298, no. August, p. 113551, 2021, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113551.
- [13] Ó. López and C. Murillo, “Systematic Literature Reviews in Kansei Engineering for,” pp. 1–19, 2021.
- [14] R. Rhadella and B. Ginting, “SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW (SLR): PENGGUNAAN BAHASA INDONESIA YANG BAIK DAN BENAR DALAM KEHIDUPAN SEHARI – HARI,” vol. 2, no. 6, pp. 494–505, 2024.
- [15] E. F. Lusianti, P. Tadris, and B. Indonesia, “Systematic Literature Review (SLR): Penerapan Media Pembelajaran Berbasis Digital Pada Pembelajaran Bahasa Indonesia,” vol. 4214, no. 1, pp. 85–101, 2024.
- [16] Z. H. Siregar, A. F. Nasution, and Y. D. Lianto, “HIGH-RISE BUILDINGS : A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW AND SCOPUS-BASED PUBLICATION TRENDS (2000 – 2025),” vol. 07, no. 01, pp. 617–638, 2026, doi: 10.54123/vorteks.v7i1.533.
- [17] N. R. Haddaway, M. J. Page, C. C. Pritchard, and L. A. McGuinness, “PRISMA2020 : An R package and Shiny app for producing PRISMA 2020 - compliant flow diagrams , with interactivity for optimised digital transparency and Open Synthesis,” pp. 1–12, 2022, doi: 10.1002/cl2.1230.
- [18] R. G. Padang, I. Farida, and A. Prawira, “Literatur Review Perpajakan Deviden Yang Terideks Scopus Tahun 2021- 2024,” no. November, 2025.
- [19] Y. Rostiani, E. Tjandra, K. Akuntansi, S. Informasi, and Y. Rostiani, “Analisis Bibliometrik Studi Perkembangan Metode Service Quality pada Database Google Scholar Menggunakan Vosviewer (Studi Literatur Tahun 2016 – 2020) Bibliometric Analysis of Service Quality Method Development Studies on the Google Scholar Database using Vosviewer (2016 – 2020 Literature Study),” vol. 11, pp. 85–93, 2022.
- [20] Z. Azzahrawaani and R. C. Johan, “Analisis bibliometrik tren penelitian literasi pada lansia dengan menggunakan VOSviewer,” vol. 44, no. 2, pp. 125–140, 2023, doi: 10.55981/j.baca.2023.1679.
- [21] G. E. Mulyana, Y. Winoto, and U. L. Khadijah, “ANALISIS BIBLIOMETRIK TREN PENELITIAN LITERASI DIGITAL DI,” vol. 8, pp. 465–487, 2024.