

Tren Penelitian dalam Evaluasi Konsultan Pertambangan (2020-2025) dengan Metode Bibliometri

Dwianto^{1*}, Muhammad Faiz Shafiyurrahman²
Universitas Pembangunan Nasional Veteran, Indonesia¹
PT Arga Dirga Indonesia, Indonesia²
Email: dwianto705@gmail.com^{1*}

Keywords:	Abstract
Mining Consultants; Bibliometric; Mining Governance; Sustainability; Illegal Mining	<i>The mining industry plays a crucial role in economic development, but also faces complex environmental, social, and governance challenges. Mining consultants play a strategic role in ensuring regulatory compliance, mitigating impacts, and strengthening sustainable mining governance. This study uses a bibliometric approach to examine the development of research related to mining consultant evaluation during the 2020–2025 period. Data were obtained from Web of Science using keywords related to the role and evaluation of mining consultants, resulting in 1,507 documents, with 100 open-access articles further analyzed. The analysis was conducted using Python-based tools to identify publication trends, theme distribution, keyword associations, and author collaboration networks. The novelty of this study lies in the application of bibliometric analysis to map research trends, theme distribution, methodologies, and collaboration networks in the literature on mining consultant evaluation during the 2020–2025 period. The results show a significant increase in publications after 2022, with a primary focus on resource governance, sustainability, and the energy transition. This study concludes that the integration of qualitative, quantitative, spatial, and bibliometric methods is necessary to strengthen the role of consultants in supporting transparent and sustainable mining governance.</i>
Kata kunci:	Abstrak
Konsultan Pertambangan; Bibliometrik; Tata Kelola Pertambangan; Keberlanjutan; Pertambangan Ilegal.	Industri pertambangan berperan penting dalam pembangunan ekonomi, namun juga menghadapi tantangan lingkungan, sosial, dan tata kelola yang kompleks. Konsultan pertambangan memiliki peran strategis dalam memastikan kepatuhan regulasi, mitigasi dampak, serta penguatan tata kelola pertambangan yang berkelanjutan. Penelitian ini menggunakan pendekatan bibliometrik untuk mengkaji perkembangan penelitian terkait evaluasi konsultan pertambangan selama periode 2020–2025. Data diperoleh dari Web of Science menggunakan kata kunci terkait peran dan evaluasi konsultan pertambangan, menghasilkan 1.507 dokumen, dengan 100 artikel akses terbuka dianalisis lebih lanjut. Analisis dilakukan menggunakan perangkat berbasis Python untuk mengidentifikasi tren publikasi, distribusi tema, keterkaitan kata kunci, dan jaringan kolaborasi penulis. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan analisis bibliometrik untuk memetakan tren penelitian, distribusi tema, metodologi, dan jejaring kolaborasi dalam literatur tentang evaluasi konsultan pertambangan selama periode 2020--2025. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan publikasi yang signifikan setelah tahun 2022 dengan fokus utama pada tata kelola sumber daya, keberlanjutan, dan transisi energi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi metode kualitatif, kuantitatif, spasial, dan bibliometrik diperlukan untuk memperkuat peran konsultan dalam mendukung tata kelola pertambangan yang transparan dan berkelanjutan.

PENDAHULUAN

Industri pertambangan merupakan salah satu pilar penting dalam perekonomian global, namun sekaligus menghadirkan tantangan besar terhadap lingkungan, sosial, dan tata kelola. Aktivitas pertambangan, baik yang dilakukan secara legal maupun ilegal, tidak jarang

menimbulkan degradasi lingkungan, konflik pemanfaatan lahan, serta kesenjangan sosial-ekonomi (Moran et al., 2014). Dalam konteks ini, konsultan tambang memainkan peran strategis yang tidak hanya terbatas pada aspek teknis, tetapi juga mencakup kepatuhan regulasi, mitigasi dampak lingkungan, serta penerapan good mining governance (Gómez & Gómez, 2021). Peran konsultan semakin meluas hingga mencakup penilaian dampak sosial dan penerapan strategi optimasi multi-objektif yang mengintegrasikan dimensi ekonomi dan lingkungan (Sairinen et al., 2020; Ullah et al., 2023).

Seiring dengan meningkatnya permintaan global atas mineral kritis yang dibutuhkan dalam transisi energi dan teknologi hijau, tekanan terhadap sektor pertambangan semakin besar. Kondisi ini menuntut model tata kelola yang efektif serta strategi berkelanjutan yang dapat mendukung pertumbuhan ekonomi sekaligus membangun komunitas yang tangguh dan inklusif (Ullah et al., 2023). Dalam praktiknya, konsultan tambang juga dihadapkan pada persoalan pertambangan informal dan ilegal, yang sering memperburuk kerusakan lingkungan serta memperdalam ketidaksetaraan sosial. Oleh karena itu, diperlukan teknik evaluasi yang kuat untuk mendukung praktik pertambangan legal sekaligus memperkuat instrumen pengawasan terhadap aktivitas ilegal (Pavloudakis et al., 2024).

Kajian sebelumnya menunjukkan bahwa Environmental, Social, and Governance (ESG) kini semakin terintegrasi dalam praktik konsultansi pertambangan, mulai dari penjadwalan produksi, manajemen limbah, penutupan tambang, hingga strategi ekonomi sirkular (Ullah et al., 2023) dan (Bascompta et al., 2025). Model pendukung keputusan berbasis optimasi multi-objektif juga telah digunakan untuk menyeimbangkan nilai ekonomi, pengurangan emisi gas rumah kaca, serta dampak sosial (Pimentel et al., 2015; Ullah et al., 2023). Lebih jauh, penerapan teknologi Industry 4.0 seperti smart mining software dan penginderaan jauh memungkinkan peningkatan efisiensi operasional sekaligus mendukung tujuan keberlanjutan (Cranford, 2023; Pavloudakis et al., 2024). Konsultan tambang juga dituntut untuk berperan aktif dalam menangani permasalahan limbah, misalnya limbah batubara di Afrika Selatan yang mencapai 60 juta ton per tahun dan berpotensi menimbulkan pencemaran sulfur (Chiodza et al., 2020). Upaya inovatif dalam waste valorization dan remediasi lingkungan menjadi krusial untuk memperkuat praktik ekonomi sirkular di sektor ini.

Meskipun telah banyak kajian dilakukan, masih terdapat kesenjangan dalam pemetaan menyeluruh mengenai tren penelitian, metodologi, dan arah perkembangan wacana akademik terkait konsultan tambang (Cotrina-Teatino & Araujo, 2025). Untuk itu, analisis bibliometrik dapat digunakan sebagai pendekatan sistematis guna menelaah perkembangan literatur, memetakan pola publikasi, tema penelitian, metodologi, dan jejaring kolaborasi penulis (Xiang et al., 2023; Marie et al., 2024). Pendekatan ini tidak hanya memberikan gambaran mengenai struktur intelektual bidang tersebut, tetapi juga mengidentifikasi klaster dominan, area penelitian yang sedang berkembang, serta kesenjangan metodologis yang perlu ditindaklanjuti (Kleiv & Thornhill, 2022; Morante-Carballo et al., 2022; Zeng & Jiang, 2023).

Urgensi penelitian ini didasarkan pada kebutuhan untuk memahami secara sistematis perkembangan penelitian tentang peran konsultan tambang di tengah meningkatnya kompleksitas tantangan pertambangan global. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan analisis bibliometrik untuk memetakan tren penelitian, distribusi tema, metodologi, dan jejaring kolaborasi dalam literatur tentang evaluasi konsultan pertambangan selama periode 2020--2025. Penelitian ini menggunakan pendekatan berbasis Python untuk menganalisis data

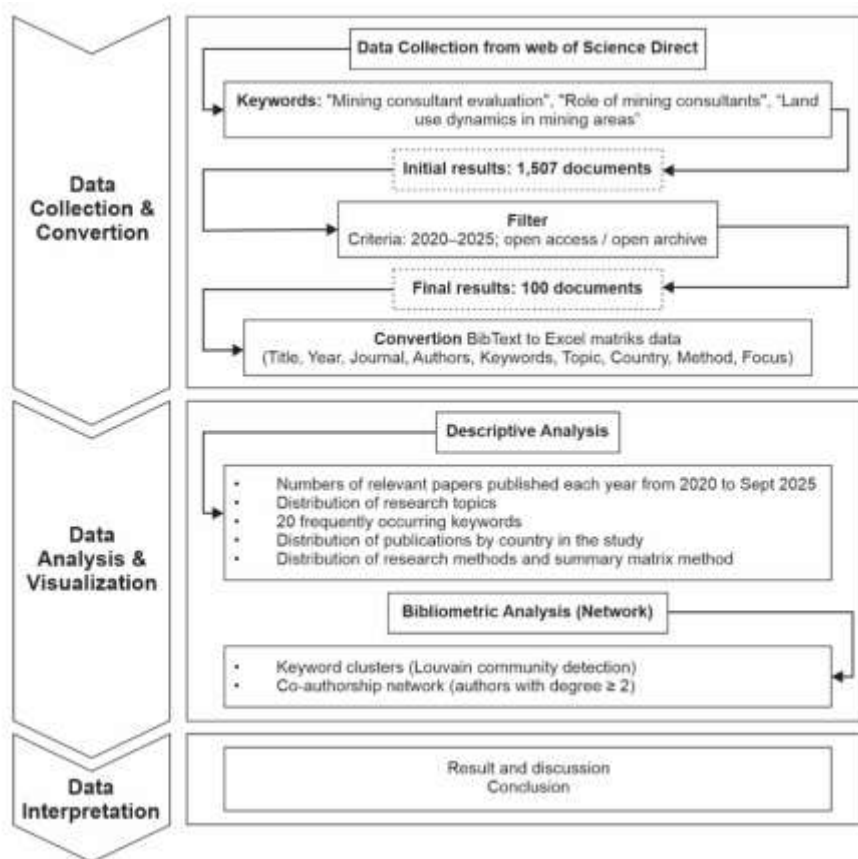
dari Web of Science, yang memungkinkan identifikasi pola dan struktur pengetahuan secara komprehensif. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam merumuskan potensi teknik evaluasi yang lebih komprehensif untuk mendukung praktik pertambangan legal sekaligus memperkuat pengawasan terhadap aktivitas ilegal.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan melakukan tinjauan bibliometrik terhadap literatur akademik mengenai peran konsultan tambang pada periode 2020–2025. Kajian ini diharapkan dapat: (i) memetakan tren penelitian dan tema dominan, (ii) mengidentifikasi metodologi yang digunakan dalam mengevaluasi konsultan tambang, serta (iii) merumuskan potensi teknik evaluasi yang lebih komprehensif untuk mendukung praktik pertambangan legal sekaligus memperkuat pengawasan terhadap aktivitas ilegal. Dengan memberikan gambaran terstruktur mengenai lanskap keilmuan ini, penelitian diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan kebijakan dan praktik pertambangan berkelanjutan, serta menegaskan posisi konsultan tambang sebagai aktor kunci dalam pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan.

METODE

Analisis dalam penelitian ini dilakukan dengan mengolah data artikel ilmiah yang diperoleh dari Web of Science Direct. Pencarian literatur menggunakan kata kunci utama “Mining consultant evaluation”, “Role of mining consultants”, dan “Land use dynamics in mining areas”, sehingga diperoleh sebanyak 1.507 dokumen. Dataset tersebut kemudian disaring berdasarkan dua kriteria, yaitu publikasi dalam rentang tahun 2020–2025 serta artikel dengan status open access atau open archive. Hasil penyaringan lebih lanjut menghasilkan 100 artikel teratas yang kemudian dikonversi menjadi sebuah matriks data. Matriks ini berisi informasi pokok dari setiap artikel, mencakup title, year, journal, authors, keywords, topic, country, method, dan research focus.

Setelah proses pengumpulan dan konversi data, analisis dilakukan secara bertahap. Pertama, dilakukan analisis deskriptif terhadap dataset yang mencakup jumlah publikasi per tahun (2020–September 2025), seratus jurnal dengan publikasi terbanyak, distribusi topik penelitian, metode penelitian, fokus penelitian, serta distribusi negara studi. Selanjutnya, dilakukan analisis bibliometrik berbasis jaringan, meliputi analisis co-occurrence keywords untuk memetakan keterkaitan antar topik penelitian dan analisis co-authorship network untuk menggambarkan pola kolaborasi antar penulis menggunakan colaboratory software dengan bahasa pemrograman Python. Tahap terakhir adalah analisis struktur konseptual, yang dilakukan melalui penyusunan dendrogram topik dan evolusi tematik untuk mengidentifikasi perkembangan riset terkini sekaligus memproyeksikan arah penelitian di masa mendatang (Gambar 1).



Gambar 1. Diagram alur teknis pendekatan bibliometrik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Descriptive Analysis

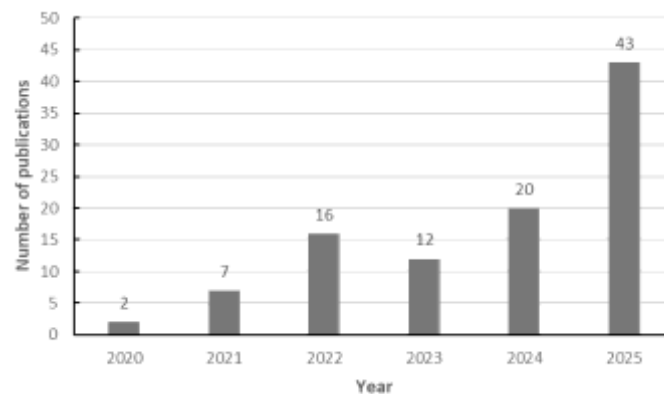
Annual Scientific Publication Trends

Gambar 2 tren publikasi tahunan (2020–September 2025) menunjukkan peningkatan yang stabil meskipun terdapat sedikit fluktuasi pada tahun-tahun tertentu. Penelitian mengenai evaluasi peran konsultan tambang baik dalam konteks pertambangan legal maupun ilegal telah bergeser dari isu marginal menjadi tema sentral dalam diskursus akademik (Xiang et al., 2023; Cotrina-Teatino & Araujo, 2025). Pada fase awal (2020–2021), jumlah publikasi masih sangat terbatas, hanya dua artikel pada 2020 dan tujuh pada 2021. Keterbatasan ini sebagian besar dapat dijelaskan oleh dominasi penelitian terkait COVID-19 serta keterbatasan akses lapangan selama pandemi. Hambatan tersebut mengurangi peluang untuk melakukan penelitian empiris yang biasanya sangat penting dalam studi terkait pertambangan.

Fase pertumbuhan (2022–2023) menunjukkan sedikit peningkatan, dengan jumlah publikasi naik menjadi 16 pada 2022 sebelum sedikit menurun menjadi 12 pada 2023. Lonjakan ini mencerminkan meningkatnya perhatian akademik terhadap tata kelola pertambangan di era pasca-pandemi dan sejalan dengan agenda keberlanjutan global, khususnya integrasi aspek ESG serta prinsip ekonomi sirkular dalam praktik pertambangan (Ullah et al., 2023; Bascompta et al., 2024). Penurunan kecil pada 2023 dianggap sebagai fluktuasi wajar yang sering dipengaruhi oleh siklus penelitian, jadwal konferensi, dan proses penerbitan jurnal (Tubis et al., 2020). Namun demikian, tren secara keseluruhan menunjukkan

konsolidasi bertahap konsultan tambang sebagai bidang penelitian dengan signifikansi yang semakin meningkat.

Fase akselerasi (2024–2025) semakin menegaskan arah ini, dengan jumlah publikasi meningkat menjadi 20 artikel pada 2024 dan melonjak tajam menjadi 43 artikel hanya hingga September 2025. Pertumbuhan hampir dua kali lipat ini menegaskan fokus yang semakin intensif terhadap topik konsultan tambang, yang dipicu oleh perdebatan global mengenai sustainable mining, penegakan hukum terhadap praktik pertambangan ilegal, serta penerapan teknologi baru seperti remote sensing dan machine learning (Pavloudakis et al., 2024; Ma et al., 2024; Rahnema et al., 2023). Pergeseran kebijakan terkait transisi energi dan meningkatnya kebutuhan critical raw materials semakin memperkuat pentingnya peran strategis konsultan tambang (Ullah et al., 2023). Secara keseluruhan, temuan ini menunjukkan bahwa sejak 2022, topik peran konsultan tambang telah menjadi arus utama dalam akademik, menegaskan signifikansinya tidak hanya dalam dimensi teknis tetapi juga dalam tata kelola, kebijakan, dan keberlanjutan pertambangan di tingkat global (Moran et al., 2014; Pimentel et al., 2015).



Gambar 2. Jumlah makalah relevan yang diterbitkan setiap tahun dari tahun 2020 hingga September 2025.

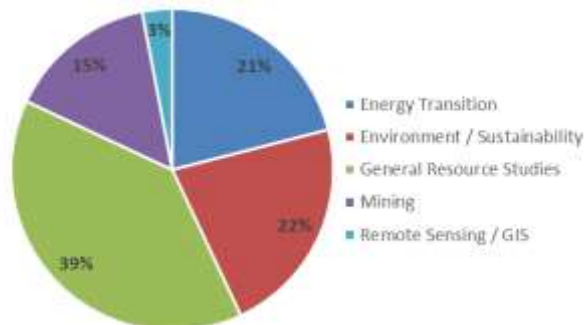
Annual Scientific Publication Trends

Gambar 3 memperlihatkan distribusi topik penelitian dari 100 artikel mengenai konsultan tambang pada periode 2020–2025. Analisis menunjukkan dominasi kajian pada isu sumber daya dan keberlanjutan, sementara studi teknis-spasial masih sangat terbatas. General Resource Studies menempati porsi terbesar, yaitu 39% publikasi, dengan fokus pada tata kelola sumber daya alam, kebijakan pertambangan, serta analisis sosial-ekonomi terkait praktik pertambangan legal maupun ilegal. Dominasi ini mengindikasikan bahwa perhatian akademik lebih banyak diarahkan pada isu-isu makro seperti tata kelola, kebijakan, dan kerangka institusional, sementara kajian yang lebih bersifat operasional masih relatif jarang dilakukan (Xiang et al., 2023; Moomen et al., 2020).

Kategori terbesar kedua adalah Environment/Sustainability (22%) yang menekankan pada dampak ekologis, strategi mitigasi, serta kerangka keberlanjutan, sejalan dengan tren global dalam penelitian pertambangan berkelanjutan. Selanjutnya, Energy Transition menyumbang 21% publikasi dengan menyoroti peran mineral kritis, integrasi energi terbarukan, serta keterkaitan aktivitas tambang dengan agenda dekarbonisasi. Temuan ini menegaskan posisi strategis konsultan tambang dalam menjembatani kebutuhan energi bersih dengan praktik pertambangan yang bertanggung jawab (Pavloudakis et al., 2024; Rahnema et al., 2023). Sebaliknya, studi yang secara langsung menyoroti aspek teknis, operasional,

maupun manajerial pertambangan hanya mencapai 15%, sedangkan Remote Sensing/GIS tercatat paling rendah dengan hanya 3%. Ketidakseimbangan ini mencerminkan kecenderungan penelitian pertambangan yang masih menitikberatkan pada kerangka konseptual dibandingkan penerapan teknis seperti optimasi operasional, pemodelan geologi lanjutan, dan teknologi ekstraksi inovatif (Xiang et al., 2023; Ullah et al., 2023).

Distribusi ini menunjukkan bahwa penelitian mengenai konsultan tambang lebih banyak terkonsentrasi pada dimensi kebijakan, tata kelola, dan keberlanjutan, sehingga memposisikan konsultan tidak hanya sebagai ahli teknis, tetapi juga aktor tata kelola yang terlibat dalam perumusan kebijakan, legitimasi sosial, serta strategi transisi energi. Namun, rendahnya representasi pada studi teknis dan spasial menyoroti adanya kesenjangan penelitian yang signifikan. Studi terdahulu juga menekankan adanya keterbatasan pada bidang operasional seperti optimasi portofolio proyek, manajemen limbah, dan penutupan tambang, terutama dalam mengintegrasikan target sosial serta dampak keberlanjutan (Pimentel et al., 2015; Moran et al., 2014). Selain itu, minimnya kajian optimasi multi-objektif dalam penjadwalan produksi yang seringkali mengabaikan aspek lingkungan dan sosial demi keuntungan semata semakin mempertegas celah penelitian ini (Bascompta et al., 2024; Ullah et al., 2023). Untuk mengatasinya, diperlukan pendekatan interdisipliner yang memadukan teknik rekayasa, ilmu lingkungan, dan ilmu sosial guna merancang decision-support models yang mampu menyeimbangkan aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial (Moomen et al., 2020; Rahnema et al., 2023). Dengan demikian, perluasan riset ke arah remote sensing, model optimasi lanjutan, serta integrasi ESG menjadi sangat penting untuk memperkuat kapasitas konsultan tambang dalam mendorong praktik pertambangan berkelanjutan secara global.



Gambar 3. Distribusi topik penelitian

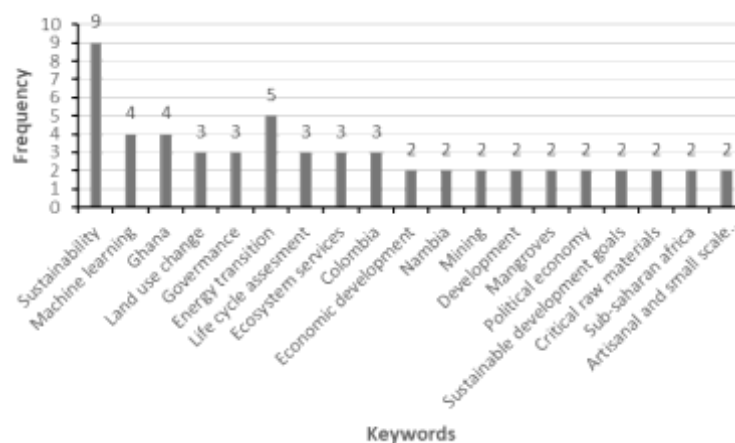
Keyword Analysis

Analisis kata kunci (Gambar 4) dari 100 artikel menunjukkan adanya struktur tematik yang kuat dalam kajian mengenai peran konsultan tambang pada periode 2020–2025. Kata kunci “Sustainability” mendominasi dengan frekuensi tertinggi (9 kali), menegaskan bahwa keberlanjutan menjadi kerangka utama yang melandasi sebagian besar penelitian di bidang ini. Tren ini mencerminkan meningkatnya perhatian global terhadap praktik pertambangan yang selaras dengan prinsip pembangunan berkelanjutan, mencakup dimensi lingkungan, sosial, dan ekonomi. Fokus tersebut juga sejalan dengan kecenderungan riset pertambangan secara global yang semakin banyak mengintegrasikan prinsip Environmental, Social, and Governance (ESG) ke dalam kerangka operasional (Ullah et al., 2023).

Kata kunci “Machine learning” (4 kali) menandakan meningkatnya pemanfaatan metode komputasi cerdas dalam mendukung analisis terkait pertambangan, termasuk pemantauan

aktivitas tambang, prediksi dampak lingkungan, serta deteksi pertambangan ilegal melalui citra satelit. Hal ini sejalan dengan berkembangnya riset interdisipliner yang mengintegrasikan remote sensing dan machine learning untuk meningkatkan efektivitas pemantauan lingkungan dan optimasi operasional di sektor pertambangan (Rondón et al., 2023; Kotikot et al., 2024). Selain itu, kata kunci geografis seperti “Ghana” (4 kali) menunjukkan relevansi konteks studi tertentu, terutama terkait tantangan pada pertambangan emas skala kecil dan praktik pertambangan ilegal yang cukup menonjol di wilayah tersebut.

Kata kunci metodologis dan substantif lainnya meliputi “Life cycle assessment” (5 kali), “Land use change”, “Governance”, “Energy transition”, dan “Ecosystem services” (masing-masing 3 kali), yang menegaskan pentingnya pendekatan holistik dalam mengevaluasi dampak pertambangan. Kehadiran kata kunci “Ecosystem services” menggarisbawahi bahwa penelitian konsultan tambang perlu menimbang trade-off antara pembangunan ekonomi, degradasi lingkungan, dan kesejahteraan sosial (Pimentel et al., 2015; Moran et al., 2014). Di samping itu, kemunculan kata kunci seperti “Economic development”, “Colombia”, dan “Namibia” menunjukkan konteks geografis dan sosio-ekonomi yang beragam, menegaskan relevansi global dari kajian konsultan tambang, khususnya di negara berkembang yang padat sumber daya.



Gambar 4. 20 kata kunci yang sering muncul

Menariknya, kata kunci seperti “Mangroves”, “Sub-Saharan Africa”, dan “Artisanal and small-scale mining” juga muncul meski dengan frekuensi lebih rendah (2–3 kali), menandakan perhatian akademik yang berkembang terhadap ekosistem rapuh dan dinamika pertambangan rakyat. Kemunculan berulang kata “Mangroves” sangat signifikan karena mencerminkan meningkatnya pengakuan terhadap peran ekosistem ini dalam penyerapan karbon, perlindungan keanekaragaman hayati, dan ketahanan pesisir (Costa & Macreadie, 2022; Giri, 2023). Hutan mangrove kini diakui sebagai ekosistem blue carbon yang mampu menyimpan hingga empat kali lebih banyak karbon per satuan luas dibanding hutan darat, sekaligus menyediakan jasa ekosistem penting seperti perlindungan garis pantai dan ketahanan pangan (Rondón et al., 2023; Wang et al., 2024). Relevansinya dalam diskursus konsultan tambang menegaskan kebutuhan untuk mengintegrasikan teknologi pemantauan berbasis remote sensing, LiDAR, dan machine learning dalam strategi konservasi, khususnya di wilayah pesisir yang berisiko terdampak langsung oleh aktivitas pertambangan (Kotikot et al., 2024; Wei et al., 2025). Dengan demikian, konsultan tambang semakin dituntut untuk memasukkan valuasi

ekologi canggih dalam penilaian proyek guna melindungi ekosistem blue carbon sekaligus mendukung target mitigasi iklim internasional (Humber et al., 2024; Murdiyarso et al., 2021).

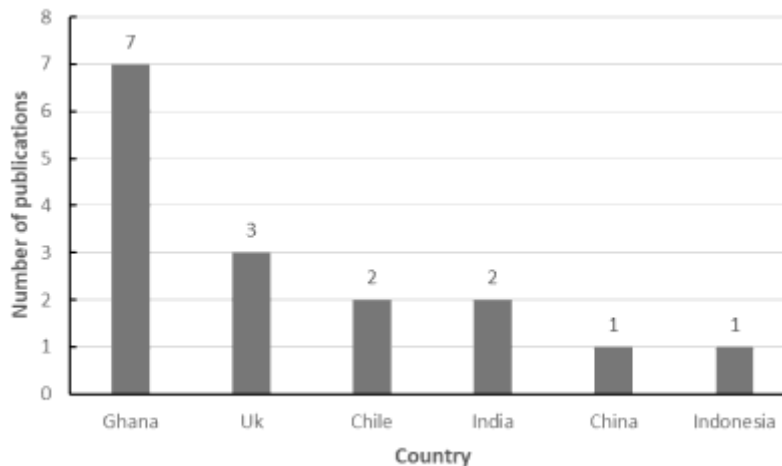
Secara keseluruhan, distribusi kata kunci ini menegaskan bahwa penelitian mengenai konsultan tambang beroperasi pada irisan antara keberlanjutan, tata kelola, dan teknologi. Namun, ia juga membuka ruang penting pada isu-isu yang masih kurang tereksplorasi, seperti ekosistem blue carbon dan pertambangan rakyat yang memiliki implikasi besar terhadap pengelolaan sumber daya berkelanjutan. Dengan memperluas perhatian pada topik-topik tersebut dan mengadopsi pendekatan metodologis yang lebih maju, penelitian konsultan tambang dapat memberikan kontribusi yang lebih efektif baik bagi wacana akademik maupun kebijakan praktis dalam mendukung praktik pertambangan yang berkelanjutan dan bertanggung jawab secara global.

Publication Distribution by Country

Gambar 5 distribusi publikasi menunjukkan bahwa penelitian terkait peran konsultan tambang dalam dinamika pertambangan legal dan ilegal didominasi oleh negara-negara tertentu dengan intensitas riset yang berbeda. Ghana menempati posisi tertinggi dengan 7 publikasi, mencerminkan perhatian besar terhadap isu pertambangan emas skala kecil (artisanal and small-scale mining) serta dampak sosial-lingkungan yang ditimbulkan. Hal ini sejalan dengan kenyataan bahwa Ghana merupakan salah satu negara dengan aktivitas tambang rakyat paling intensif di dunia, di mana peran konsultan tambang menjadi krusial untuk menghubungkan aspek teknis, tata kelola, dan pemberdayaan masyarakat lokal.

United Kingdom (UK) menempati posisi kedua dengan 3 publikasi, kemungkinan besar terkait kontribusi akademisi dan lembaga penelitian yang aktif melakukan studi lintas negara, termasuk kolaborasi internasional pada topik tata kelola sumber daya dan praktik pertambangan berkelanjutan. Sementara itu, negara berkembang seperti Chile dan India masing-masing menyumbang 2 publikasi, yang umumnya berfokus pada tata kelola pertambangan mineral strategis serta isu lingkungan dan sosial yang menyertainya. Kontribusi dari China dan Indonesia relatif rendah, masing-masing hanya 1 publikasi. Padahal kedua negara ini merupakan produsen mineral besar dengan peran strategis dalam rantai pasok global, terutama terkait transisi energi. Rendahnya jumlah publikasi mungkin disebabkan oleh keterbatasan akses data terbuka atau dominasi publikasi dalam bahasa lokal yang tidak seluruhnya terindeks pada basis data internasional.

Secara keseluruhan, distribusi ini memperlihatkan bahwa riset terkait peran konsultan tambang masih terpusat pada negara-negara tertentu, terutama di Afrika Barat (Ghana) serta beberapa negara dengan kapasitas akademik kuat seperti UK. Kondisi ini mengindikasikan adanya kesenjangan geografis dalam literatur, di mana negara-negara produsen utama di Asia Tenggara, termasuk Indonesia, masih kurang terepresentasi dalam publikasi internasional. Hal ini membuka peluang riset lebih lanjut untuk memperkuat kontribusi akademik dari wilayah-wilayah dengan intensitas pertambangan tinggi namun keterwakilan ilmiahnya masih terbatas.



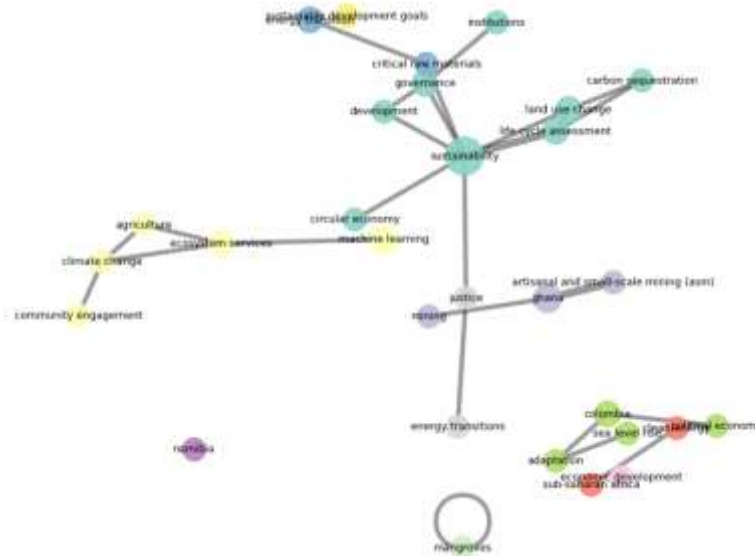
Gambar 5. Distribusi publikasi menurut negara dalam penelitian

Network-Based Bibliometric Analysis

Keyword Clusters Network

Analisis jaringan kata kunci menggunakan metode Louvain community detection pada 100 artikel menghasilkan beberapa kluster tematik yang menggambarkan arah dan keterkaitan penelitian di bidang peran konsultan tambang (Gambar 6). Kluster terbesar dipusatkan pada kata kunci “sustainability”, yang terhubung erat dengan istilah “governance”, “life cycle assessment”, “land use change”, “critical raw materials”, dan “development”. Hal ini menunjukkan bahwa isu keberlanjutan menjadi payung utama, dengan pendekatan evaluasi berbasis siklus hidup dan tata kelola sebagai instrumen penting untuk memastikan praktik pertambangan sesuai prinsip pembangunan berkelanjutan. Peran konsultan tambang dalam kluster ini lebih banyak difokuskan pada perumusan strategi mitigasi dan kebijakan pengelolaan yang holistik.

Kluster lain yang cukup menonjol adalah yang berhubungan dengan “machine learning” dan “circular economy”, yang terhubung ke topik “ecosystem services”, “agriculture”, dan “climate change”. Keterhubungan ini menegaskan tren penggunaan teknologi analitik modern untuk mengevaluasi dampak pertambangan pada ekosistem dan jasa lingkungan, sekaligus mendukung model ekonomi sirkular. Peran konsultan dalam konteks ini meluas pada pemanfaatan teknologi digital untuk memantau dampak dan merancang skema pemulihan ekosistem. Kluster dengan fokus geografis juga muncul, misalnya “Ghana” dan “artisanal and small-scale mining (ASM),” yang berhubungan dengan kata “justice” dan “mining.” Kluster ini mengindikasikan perhatian akademik terhadap isu keadilan sosial dan tata kelola pada sektor pertambangan rakyat, di mana konsultan tambang berperan sebagai mediator antara regulasi formal dengan praktik lokal yang seringkali berjalan di luar kerangka hukum.



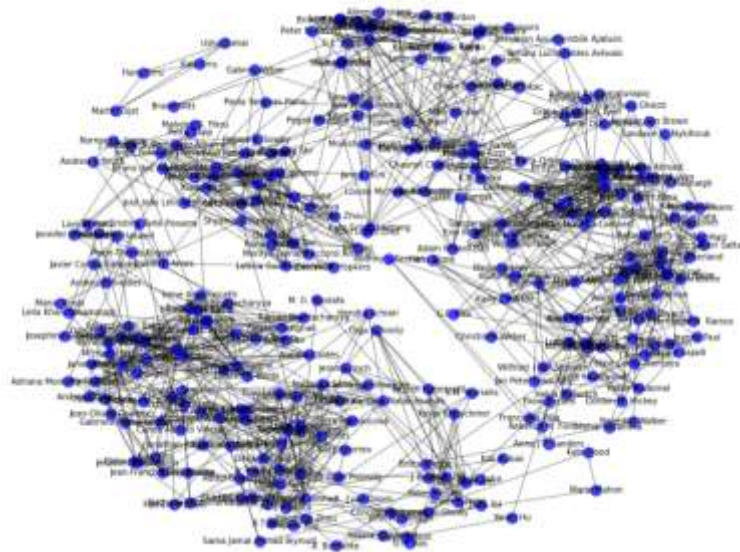
Gambar 6. Kluster kata kunci (deteksi komunitas Louvain)

Sementara itu, kluster lain memperlihatkan keterkaitan antara “Colombia”, “sub-Saharan Africa”, “economic development”, “sea level rise”, dan “blue or green economy”. Kluster ini merepresentasikan dimensi regional dan ekonomi-politik, yang menekankan pada tantangan pembangunan berkelanjutan di wilayah Global South dengan kerentanan lingkungan tinggi. Beberapa kata kunci berdiri lebih terisolasi, seperti “Namibia” dan “mangroves,” yang menunjukkan adanya kajian khusus yang belum sepenuhnya terintegrasi dalam arus utama penelitian. Meski demikian, kemunculannya menegaskan pentingnya konteks lokal dan ekosistem spesifik dalam evaluasi pertambangan.

Secara keseluruhan, pola klusterisasi ini menggarisbawahi bahwa penelitian terkait konsultan tambang tidak hanya terpusat pada aspek teknis, tetapi juga bergerak ke arah multidisipliner yang mencakup tata kelola, keadilan sosial, teknologi digital, dan dimensi ekologi. Temuan ini menegaskan semakin pentingnya peran konsultan tambang sebagai aktor interdisipliner yang menjembatani dimensi teknis, sosial, dan lingkungan dalam dinamika pertambangan legal maupun ilegal.

Co-Authorship Network

Gambar 7 jejaring co-authorship menampilkan pola kolaborasi antar-penulis yang berkontribusi dalam publikasi mengenai peran konsultan tambang dan dinamika pertambangan legal maupun ilegal. Visualisasi ini menggunakan kriteria $\text{degree} \geq 2$, artinya hanya penulis yang memiliki minimal dua hubungan kolaboratif yang ditampilkan, sehingga mencerminkan jaringan inti dalam komunitas penelitian. Dari gambar terlihat bahwa jejaring penelitian bersifat padat namun terbagi dalam beberapa kluster. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun ada tingkat kolaborasi yang cukup tinggi di antara peneliti, pola kerja sama masih cenderung terfragmentasi menurut kelompok atau afiliasi tertentu. Beberapa penulis berfungsi sebagai “hub” dengan derajat koneksi yang tinggi, mengindikasikan peran mereka sebagai penghubung lintas kelompok penelitian dan berkontribusi penting dalam penyebaran ide maupun metodologi di bidang ini.



Gambar 7. Co-authorship network (authors with degree ≥ 2)

Jejaring yang rapat di bagian tengah peta mengisyaratkan adanya komunitas akademik inti yang fokus pada topik keberlanjutan, tata kelola, dan evaluasi dampak pertambangan. Sebaliknya, kelompok yang lebih kecil dan terdispersi di pinggir jaringan kemungkinan berasal dari studi kasus spesifik dengan konteks geografis tertentu, misalnya Afrika Sub-Sahara atau Amerika Latin. Fenomena ini memperlihatkan bahwa penelitian dengan orientasi regional sering kali membentuk kolaborasi internal yang kuat, tetapi kurang terhubung dengan komunitas global yang lebih luas.

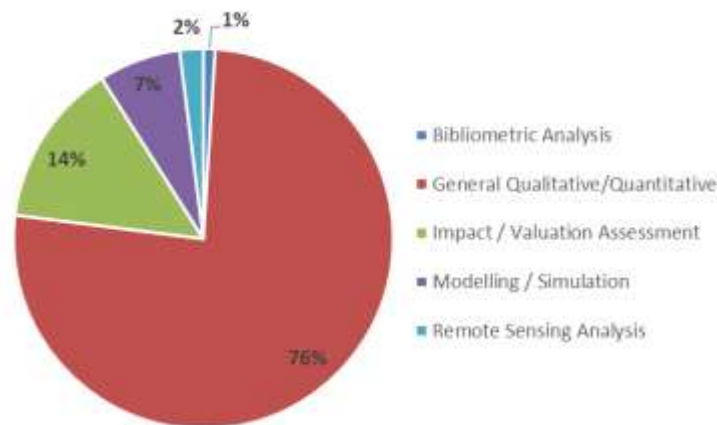
Secara keseluruhan, jejaring ini memperlihatkan bahwa riset peran konsultan tambang semakin bersifat kolaboratif dan multidisipliner, dengan kontribusi lintas negara serta bidang keilmuan. Namun demikian, pola fragmentasi yang masih terlihat menunjukkan adanya peluang untuk memperkuat jejaring internasional agar transfer pengetahuan lebih merata, khususnya melibatkan negara-negara produsen tambang utama yang sejauh ini kurang terwakili dalam literatur. Penguatan jejaring ini juga penting untuk memperluas standar metodologi evaluasi dan memperkuat posisi konsultan tambang sebagai aktor kunci dalam praktik pertambangan berkelanjutan di skala global.

Review Evaluation Techniques

Distribusi metode penelitian (Gambar 8) menunjukkan dominasi pendekatan kualitatif sebesar 76%, konsisten dengan hasil matriks analisis dari 100 artikel. Sebagian besar penelitian menggunakan desain kualitatif umum, seperti wawancara, studi kasus, analisis kebijakan, dan kajian tata kelola. Kecenderungan ini memperlihatkan bahwa peran konsultan tambang lebih sering dikaji melalui dimensi sosio-politik dan konseptual, seperti bagaimana konsultan berinteraksi dengan masyarakat, mendukung kepatuhan regulasi, serta membangun legitimasi tata kelola. Dominasi pendekatan kualitatif ini juga menekankan peran konsultan sebagai policy advisor dan social mediator di samping fungsi teknisnya. Namun, dominasi ini sekaligus menunjukkan keterbatasan pemanfaatan metode kuantitatif yang sebenarnya krusial untuk

memvalidasi kepatuhan terhadap regulasi lingkungan maupun perjanjian sosial (Hirons, 2020; Bascompta et al., 2024).

Kategori kedua terbesar adalah impact or valuation assessment dengan 14 artikel. Porsi ini menegaskan upaya akademik dalam menilai dampak lingkungan dan sosial dari praktik pertambangan, seringkali divisualisasikan melalui perangkat berbasis GIS atau kerangka evaluasi lainnya. Dalam konteks konsultan tambang, metode ini sangat penting karena memberikan dasar kuantitatif bagi penyusunan AMDAL, strategi mitigasi, dan pembenaran ekonomi atas praktik pertambangan berkelanjutan. Namun, proporsinya yang terbatas menunjukkan bahwa monetisasi dan pengukuran dampak belum sepenuhnya terintegrasi dalam wacana akademik. Padahal, metodologi mutakhir seperti machine learning yang dipadukan dengan remote sensing terbukti berpotensi besar, misalnya untuk deteksi dini kegagalan bendungan tailing, pemantauan perubahan hidrogeologi, serta identifikasi aktivitas tambang ilegal (Domingo et al., 2024; Xiang et al., 2023). Metode ini juga mampu mengukur kekeruhan perairan, pergerakan sedimen, serta risiko pencemaran air tanah, sehingga memperkaya pemahaman terhadap dinamika lingkungan dan sosial akibat aktivitas tambang (Lechner et al., 2019; Obodai et al., 2023).



Gambar 8. Distribution of research methods

Metode pemodelan/simulasi (7 artikel) dan analisis penginderaan jauh (2 artikel) tercatat dengan proporsi kecil, meskipun keduanya memiliki kontribusi signifikan dalam memperkuat evaluasi konsultan tambang. Pemodelan dapat digunakan untuk menyusun skenario jangka panjang terkait dampak pertambangan pada penggunaan lahan maupun sistem sosial-ekologis, sementara penginderaan jauh menyediakan bukti spasial-temporal yang objektif untuk mendeteksi perubahan penutup lahan dan pertambangan ilegal. Kemajuan terkini dalam observasi bumi yang dipadukan dengan kecerdasan buatan memungkinkan pemodelan prediktif atas dampak lingkungan dan sosial-ekonomi, sehingga mendukung perencanaan strategis dan manajemen risiko yang lebih proaktif (Calder et al., 2024; Corrigan & Ikonnikova, 2024). Meski demikian, penerapannya masih terhambat oleh keterbatasan ketersediaan data, menegaskan pentingnya kolaborasi interdisipliner serta integrasi sistematis dari catatan rekayasa, data geofisika, hingga basis data komersial (Lumbroso et al., 2019).

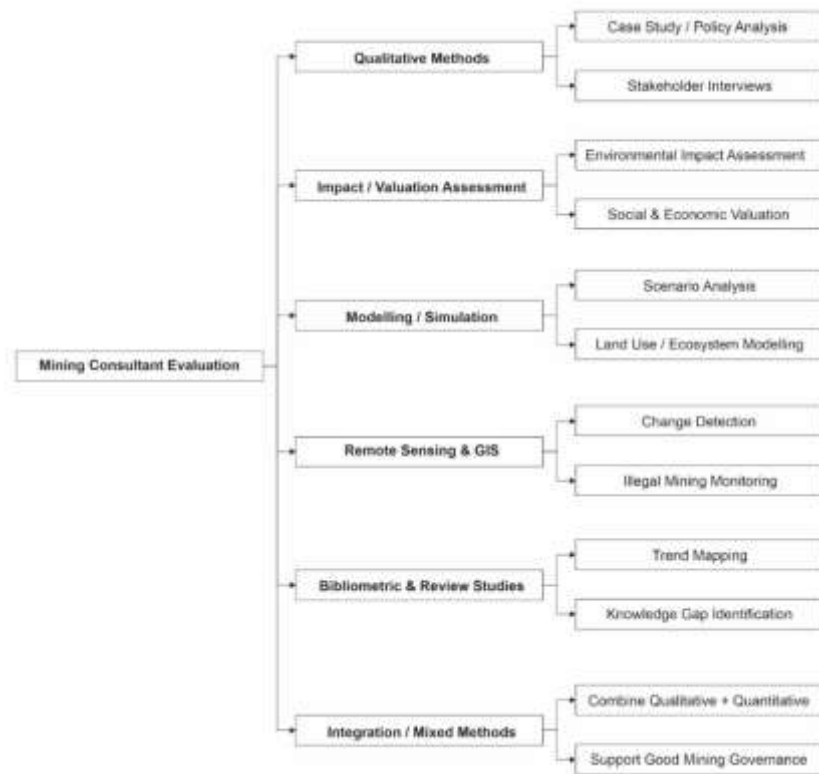
Tabel 1. Ringkasan studi tinjauan evaluasi untuk konsultan pertambangan

Research methods	Description	Number of articles (n=100)	Indicators on the matrix
<i>General Qualitative</i>	<i>Qualitative studies: interviews, case studies, policy analysis, governance reviews, participatory studies</i>	76	"interview", "case study", "qualitative", "policy analysis"
<i>Impact / Visualization Assessment</i>	<i>Environmental/social impact assessment, GIS visualization/GIS-based maps, assessment tools</i>	14	"impact assessment", "visualization", "GIS", "stakeholder assessment"
<i>Modelling / Simulation</i>	<i>Quantitative modeling: impact simulation, land use models, environmental economic models</i>	7	"modelling", "simulation", "scenario analysis"
<i>Remote Sensing Analysis</i>	<i>Spatial and temporal analysis using satellite imagery / RS / Google Earth Engine</i>	2	"remote sensing", "Sentinel", "Landsat", "change detection"
<i>Bibliometric Analysis / Review</i>	<i>Meta-analysis and bibliometric studies / systematic reviews</i>	1	"bibliometric", "systematic review"

Menariknya, hanya satu artikel yang menggunakan bibliometric analysis, menandakan masih minimnya pemetaan pengetahuan sistematis di bidang ini. Padahal, analisis bibliometrik penting untuk mengidentifikasi kluster riset, aktor kunci, serta menentukan arah prioritas penelitian (Pimentel et al., 2015; Onifade et al., 2024). Minimnya kajian ini semakin menegaskan relevansi studi ini dalam mengisi kekosongan tersebut. Selain itu, integrasi ecological literacy dan instrumen penilaian Sustainable Development Goals (SDGs) dalam praktik konsultansi juga membuka peluang penting yang masih jarang dimanfaatkan, guna memperdalam integrasi metrik keberlanjutan dalam evaluasi pertambangan (Pouresmaeli et al., 2023; Ngom et al., 2022).

Secara keseluruhan, distribusi metode ini menegaskan bahwa penelitian konsultan tambang masih sangat didominasi pendekatan kualitatif, sementara metode kuantitatif, simulasi, dan teknologi spasial masih kurang tereksplorasi. Ke depan, penelitian perlu mengembangkan mixed methods yang menggabungkan wawancara dan studi kasus dengan pemodelan kuantitatif maupun analisis penginderaan jauh. Integrasi metodologi ini akan memperkaya kapasitas evaluasi konsultan tambang, mulai dari legitimasi sosial hingga bukti ilmiah berbasis data spasial, sehingga mendukung praktik pertambangan legal yang lebih transparan sekaligus memperkuat pengawasan terhadap aktivitas ilegal (Domingo et al., 2024; Lameck et al., 2025). Lebih jauh lagi, peningkatan literasi ekologi serta pelatihan interdisipliner dalam praktik konsultansi dapat menjembatani kesenjangan antara teori akademik dan aplikasi di lapangan, melahirkan generasi baru konsultan yang mampu menyelaraskan operasi pertambangan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan global (Pouresmaeli et al., 2023; Moomen et al., 2020).

Potential Technique for Evaluation Mining Consultant



Gambar 9. Potensi teknik diagram alir untuk evaluasi konsultan pertambangan

Potensi teknik evaluasi peran konsultan tambang dapat dikembangkan melalui integrasi berbagai pendekatan penelitian. Metode kualitatif tetap penting untuk menggali aspek tata kelola, kebijakan, dan legitimasi sosial, namun perlu dilengkapi dengan penilaian dampak (impact or valuation assessment) agar hasilnya dapat memberikan justifikasi kuantitatif terhadap dampak lingkungan maupun sosial-ekonomi. Selain itu, pemodelan dan simulasi menawarkan kemampuan proyeksi skenario jangka panjang, sementara teknologi penginderaan jauh memberikan bukti spasial yang objektif untuk mendeteksi aktivitas pertambangan ilegal dan perubahan lahan. Di sisi lain, studi bibliometrik dan tinjauan sistematis berperan sebagai instrumen reflektif untuk memetakan tren riset, mengidentifikasi kesenjangan, dan merumuskan arah penelitian ke depan.

Dengan menggabungkan keempat lapisan pendekatan tersebut, konsultan tambang dapat memperluas kapasitasnya, tidak hanya sebagai analis teknis tetapi juga sebagai aktor strategis dalam tata kelola pertambangan yang berkelanjutan. Kombinasi metode kualitatif, kuantitatif, spasial, dan reflektif membuka peluang penerapan kerangka mixed methods yang lebih komprehensif. Hal ini memungkinkan konsultan mendukung praktik pertambangan legal yang transparan sekaligus memberikan instrumen ilmiah untuk pengawasan aktivitas ilegal, sehingga memperkuat perannya dalam mendorong good mining governance.

KESIMPULAN

Tinjauan bibliometrik ini menunjukkan bahwa peran konsultan tambang dalam dinamika pertambangan legal maupun ilegal semakin memperoleh relevansi akademik, khususnya sejak tahun 2022, dengan orientasi penelitian yang kuat pada tata kelola sumber daya, keberlanjutan,

dan transisi energi. Meskipun terdapat kemajuan, masih ditemukan kesenjangan metodologis, karena sebagian besar studi didominasi oleh pendekatan kualitatif, sementara pemodelan kuantitatif, analisis spasial, dan tinjauan sistematis masih jarang dimanfaatkan. Pola geografis juga memperlihatkan representasi yang tidak merata, di mana negara seperti Ghana sering menjadi fokus kajian, sementara produsen mineral utama seperti Indonesia dan Tiongkok masih kurang dieksplorasi. Untuk menjawab kesenjangan ini, penelitian di masa depan perlu mengadopsi pendekatan terpadu yang mengombinasikan metode kualitatif, kuantitatif, spasial, dan bibliometrik, sehingga konsultan tambang dapat meningkatkan perannya tidak hanya sebagai ahli teknis, tetapi juga sebagai aktor strategis dalam mendorong transparansi pertambangan legal dan memperkuat pengawasan terhadap aktivitas ilegal. Dengan mendorong integrasi metodologis tersebut, konsultan tambang dapat berkontribusi lebih efektif dalam mewujudkan good mining governance serta pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan di sektor pertambangan global.

REFERENSI

- Bascompta, M., Yousefian, M., Vintró, C., Sanmiquel, L., Rodríguez, R., & Yubero, M. T. (2025). Sustainability assessment in mining: A CSR-based analysis model for social and environmental impact. *Fudan Journal of the Humanities and Social Sciences*, 18(2), 329–345.
- Calder, R. S. D., Dimanchev, E., Cohen, S., & McManamay, R. A. (2024). Decision support for U.S. – Canada energy integration is impaired by fragmentary environmental and electricity system modeling capacity. *Environmental Research Infrastructure and Sustainability*, 4(3), 33002. <https://doi.org/10.1088/2634-4505/ad763e>
- Chiodza, K., Harrison, S. T. L., & Fagan-Endres, M. A. (2020). Algal lipids as biocollector for recovery of coal from fine coal waste by froth flotation. *Minerals*, 10(1), 70. <https://doi.org/10.3390/min10010070>
- Corrigan, C. C., & Ikonnikova, S. (2024). A review of the use of AI in the mining industry: Insights and ethical considerations for multi-objective optimization. *The Extractive Industries and Society*, 17, 101440. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2024.101440>
- Costa, M. D. de P., & Macreadie, P. I. (2022). The evolution of blue carbon science. *Wetlands*, 42(8). <https://doi.org/10.1007/s13157-022-01628-5>
- Cotrino-Teatino, M. A., & Araujo, J. J. M. (2025). Circular economy in the mining industry: A bibliometric and systematic literature review. *Resources Policy*, 102, 105513. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2025.105513>
- Cranford, R. (2023). Conceptual application of digital twins to meet ESG targets in the mining industry. *Frontiers in Industrial Engineering*, 1. <https://doi.org/10.3389/fieng.2023.1223989>
- Domingo, J. P. T., Jenkin, G. R. T., Quick, L., Williams, R., Hudson-Edwards, K. A., Tortajada, C., Byrne, P., ... Arcilla, C. A. (2024). Sustainable mining in tropical, biodiverse landscapes: Environmental challenges and opportunities in the archipelagic Philippines. *Journal of Cleaner Production*, 468, 143114. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143114>
- Giri, C. (2023). Frontiers in global mangrove forest monitoring. *Remote Sensing*, 15(15), 3852. <https://doi.org/10.3390/rs15153852>
- Gómez, J. A. D., & Gómez, G. (2021). Governance in mining: Management, ethics, sustainability and efficiency. *The Extractive Industries and Society*, 8(3), 100910. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.100910>

- Hirons, M. (2020). How the Sustainable Development Goals risk undermining efforts to address environmental and social issues in the small-scale mining sector. *Environmental Science & Policy*, 114, 321–328. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.08.022>
- Humber, C., Bulbert, M., Chavez, J., Parawangsa, I. N. Y., Majerus, K. A., & Campera, M. (2024). Resource availability and use in restored, unmanaged, and aquaculture mangrove ecosystems in Indonesia. *Resources*, 13(9), 117. <https://doi.org/10.3390/resources13090117>
- Kleiv, R. A., & Thornhill, M. (2022). Deep-sea mining—A bibliometric analysis of research focus, publishing structures, international and inter-institutional cooperation. *Minerals*, 12(11), 1383. <https://doi.org/10.3390/min12111383>
- Kotikot, S. M., Spencer, O., Cissell, J. R., Connette, G. M., Smithwick, E. A. H., Durdall, A., ... Cauty, S. W. J. (2024). Building a mangrove ecosystem monitoring tool for managers using Sentinel-2 imagery in Google Earth Engine. *Ocean & Coastal Management*, 256, 107307. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107307>
- Lameck, A. S., Rotich, B., Ahmed, A., Kipkulei, H., Mnyawi, S. R., & Czimber, K. (2025). Land use/land cover changes due to gold mining in the Singida region, central Tanzania: Environmental and socio-economic implications. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(4). <https://doi.org/10.1007/s10661-025-13921-x>
- Lechner, A. M., Owen, J. R., Ang, M. L. E., & Kemp, D. (2019). Spatially integrated social sciences with qualitative GIS to support impact assessment in mining communities. *Resources*, 8(1), 47. <https://doi.org/10.3390/resources8010047>
- Lumbroso, D., McElroy, C., Goff, C., Collell, M. R., Petkovšek, G., & Wetton, M. (2019). The potential to reduce the risks posed by tailings dams using satellite-based information. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 38, 101209. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101209>
- Ma, L., Ghorbani, Y., Kongar-Syuryun, C., Khayrutdinov, M., Klyuev, R. V., Petenko, A., & Brigida, V. (2024). Dynamics of backfill compressive strength obtained from enrichment tails for the circular waste management. *Resources Conservation & Recycling Advances*, 23, 200224. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2024.200224>
- Marie, M., Qi, B., Gerged, A. M., & Nobanee, H. (2024). Exploring environmental, social and governance research in the wake of COVID-19: A bibliometric analysis of current trends and recommendations for future research. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 31(6), 6131–6149. <https://doi.org/10.1002/csr.2909>
- Moomen, A., Lacroix, P., Bertolotto, M., & Jensen, D. W. (2020). The drive towards consensual perspectives for enhancing sustainable mining. *Resources*, 9(12), 147. <https://doi.org/10.3390/resources9120147>
- Morante-Carballo, F., Montalván-Burbano, N., Aguilar-Aguilar, M., & Carrión-Mero, P. (2022). A bibliometric analysis of the scientific research on artisanal and small-scale mining. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13), 8156. <https://doi.org/10.3390/ijerph19138156>
- Moran, C. J., Lodhia, S., Kunz, N. C., & Huisinigh, D. (2014). Sustainability in mining, minerals and energy: New processes, pathways and human interactions for a cautiously optimistic future. *Journal of Cleaner Production*, 84, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.016>
- Murdiyarto, D., Sasmito, S. D., Sillanpää, M., MacKenzie, R. A., & Gaveau, D. (2021). Mangrove selective logging sustains biomass carbon recovery, soil carbon, and sediment. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91502-x>
- Ngom, N. M., Baratoux, D., Bolay, M., Dessertine, A., Abdoulatif, A. S., ... Kouamé, K. J. (2022). Artisanal exploitation of mineral resources: Remote sensing observations of

- environmental consequences, social and ethical aspects. *Surveys in Geophysics*, 44(1), 225–254. <https://doi.org/10.1007/s10712-022-09740-1>
- Obodai, J., Bhagwat, S. A., & Mohan, G. (2023). Gold mining's environmental footprints, drivers, and future predictions in Ghana. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 33, 101103. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101103>
- Onifade, M., Zvarivadza, T., Adebisi, J., Said, K. O., Dayo-Olupona, O., Lawal, A. I., & Khandelwal, M. (2024). Advancing toward sustainability: The emergence of green mining technologies and practices. *Deleted Journal*, 1(2), 157–168. <https://doi.org/10.1016/j.gsme.2024.05.005>
- Pavloudakis, F., Roumpos, C., & Spanidis, P.-M. (2024). Sustainable mining and processing of mineral resources. *Sustainability*, 16(19), 8393. <https://doi.org/10.3390/su16198393>
- Pimentel, B., González, E. D. R. S., & Barbosa, G. N. O. (2015). Decision-support models for sustainable mining networks: Fundamentals and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2145–2157. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.023>
- Pouresmaeli, M., Ataei, M., Qarahasanlou, A. N., & Barabadi, A. (2023). Building ecological literacy in mining communities: A sustainable development perspective. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100554. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100554>
- Rahnema, M., Amirmoeini, B., & Afrapoli, A. M. (2023). Incorporating environmental impacts into short-term mine planning: A literature survey. *Mining*, 3(1), 163–182. <https://doi.org/10.3390/mining3010010>
- Rondón, M., Ewane, E. B., Abdullah, M. M., Watt, M. S., Blanton, A., ... Mohan, M. (2023). Remote sensing-based assessment of mangrove ecosystems in the Gulf Cooperation Council countries: A systematic review. *Frontiers in Marine Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1241928>
- Sairinen, R., Сидоренко, O. B., & Tiainen, H. (2020). A research framework for studying social impacts: Application to the field of mining. *Environmental Impact Assessment Review*, 86, 106490. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106490>
- Tubis, A., Werbińska-Wojciechowska, S., & Wróblewski, A. (2020). Risk assessment methods in mining industry—A systematic review. *Applied Sciences*, 10(15), 5172. <https://doi.org/10.3390/app10155172>
- Ullah, G. M. W., Nehring, M., Kizil, M. S., & Knights, P. (2023). Environmental, social, and governance considerations in production scheduling optimisation for sublevel stoping mining operations: A review of relevant works and future directions. *Mining Metallurgy & Exploration*, 40(6), 2167–2189. <https://doi.org/10.1007/s42461-023-00869-0>
- Wang, S., Yan, D., Wang, C., Wu, L., & Huang, Y. (2024). A bibliometric analysis of blue carbon (1993–2023): Evolution of research hot topics and trends. *Frontiers in Marine Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1430545>
- Wei, S., Zhang, H., & Ling, J. (2025). A review of mangrove degradation assessment using remote sensing: Advances, challenges, and opportunities. *GIScience & Remote Sensing*, 62(1). <https://doi.org/10.1080/15481603.2025.2491920>
- Xiang, Y., Peng, S., & Du, W. (2023). Trends and frontiers in coal mine groundwater research: Insights from bibliometric analysis. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*, 9(1). <https://doi.org/10.1007/s40948-023-00663-8>
- Zeng, F., & Jiang, Z. (2023). Spatial and temporal evolution of mine dust research: Visual knowledge mapping analysis in Web of Science from 2001 to 2021. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(22), 62170–62185. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26332-7>