



Pemetaan Bibliometrik untuk Geospatial Intelligence dalam Sistem Peringatan Cuaca Maritim Berbasis Penginderaan Jauh



Fitri Anggraeni Sekar Dwianti^{1,*}, Trismadi¹, Syachrul Arief², Asep Adang Supriyadi¹

¹Program Studi Teknologi Penginderaan, Universitas Pertahanan Indonesia

²Badan Informasi Geospasial, Indonesia

*E-mail: fitri.harning@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.33369/pendipa.10.1.192-203>

ABSTRACT

The safety of shipping and the resilience of maritime infrastructure are affected by the accuracy of the early warning system against extreme weather. The use of Geospatial Intelligence (GEOINT) acts as an integrative framework that combines remote sensing data, spatial analysis, and the interpretation of geographic information for the increasing need for technology-based early detection in the face of increasingly complex marine climate dynamics, both for civilian and national defense interests. The purpose of this research is to analyze the development of global research over the past 25 years on this topic, as well as relate it to maritime infrastructure defense and resilience policies. The methodology used is bibliometric with a quantitative analysis approach to Scopus and Google Scholar publication data, as well as visualization using VOSviewer. The analysis includes the mapping of keyword trends, thematic clusters, institutional actors, and the evolution of research related to GEOINT, remote sensing, and maritime early warning systems. The results show significant improvements in the topic of satellite utilization (MODIS, Sentinel) and the integration of GEOINT big data and spatial analytics for early warning systems, but research on its application in the context of maritime defense policy is still limited. These findings provide strategic direction for the development of GEOINT as a data-driven policy support instrument that supports national shipping resilience and military preparedness in strategic maritime areas. The study also recommends a cross-sectoral research agenda that is more adaptive to the threat of extreme marine weather.

Keywords: GEOINT, Remote Sensing, Maritime Weather, Early Warning, Bibliometrics.

ABSTRAK

Keselamatan pelayaran dan ketahanan infrastruktur maritim dipengaruhi oleh keakuratan sistem peringatan dini terhadap cuaca ekstrem. Pemanfaatan Geospatial Intelligence (GEOINT) berperan sebagai kerangka integratif yang menggabungkan data penginderaan jauh, analisis spasial, dan pemaknaan informasi geografi untuk meningkatnya kebutuhan akan deteksi dini berbasis teknologi dalam menghadapi dinamika iklim laut yang semakin kompleks, baik untuk kepentingan sipil maupun pertahanan nasional. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis perkembangan riset global selama 25 tahun terakhir terkait topik tersebut, serta mengaitkannya dengan kebijakan pertahanan dan ketahanan infrastruktur maritim. Metodologi yang digunakan adalah bibliometrik dengan pendekatan analisis kuantitatif terhadap data publikasi Scopus dan Google Scholar, serta visualisasi menggunakan VOSviewer. Analisis mencakup pemetaan tren kata kunci, klaster tematik, aktor institusional, dan evolusi riset yang berkaitan dengan GEOINT, penginderaan jauh, dan sistem peringatan dini maritim. Hasil menunjukkan peningkatan signifikan pada topik pemanfaatan satelit (MODIS, Sentinel) dan integrasi big data dan analitik spasial GEOINT untuk sistem peringatan dini, namun riset tentang aplikasinya dalam konteks kebijakan pertahanan laut masih terbatas. Temuan ini memberikan arah strategis bagi pengembangan GEOINT sebagai instrumen pendukung kebijakan berbasis data yang mendukung resiliensi pelayaran nasional dan

kesiapsiagaan militer di wilayah maritim strategis. Kajian ini juga merekomendasikan agenda riset lintas sektoral yang lebih adaptif terhadap ancaman cuaca laut ekstrem.

Kata kunci: GEOINT, Penginderaan Jauh, Peringatan Dini Cuaca Maritim, Bibliometrik.

PENDAHULUAN

Dalam dekade terakhir, gangguan cuaca ekstrem di wilayah laut telah meningkat secara signifikan, menyebabkan kerusakan infrastruktur pelabuhan, keterlambatan logistik laut, hingga kecelakaan pelayaran sipil dan militer. Pelabuhan berperan sebagai simpul strategis dalam sistem transportasi laut dan menjadi infrastruktur yang vital bagi moda transportasi laut dan darat (Hossain et al, 2020). Perubahan iklim global telah memperparah variabilitas cuaca laut, sehingga sistem peringatan dini menjadi instrumen krusial dalam menjaga keselamatan dan keberlanjutan jalur pelayaran strategis. (Yaddanapudi et al., 2022) mengemukakan perubahan iklim memperbesar risiko kejadian ekstrem di wilayah pesisir global, yang berdampak pada peningkatan risiko banjir pesisir melalui peningkatan anomali permukaan laut. Kondisi ini menjadikan sistem peringatan dini cuaca maritim sebagai komponen strategis dalam menjaga keselamatan navigasi, stabilitas pelabuhan, serta kesiapan operasi maritim di kawasan yang memiliki nilai ekonomi dan geopolitik yang strategis. Sistem peringatan dini modern tidak lagi terbatas pada pengamatan meteorologi konvensional, melainkan telah berkembang menjadi sistem informasi berbasis data spasial dan temporal yang terintegrasi. Situasi ini semakin menuntut integrasi teknologi modern, khususnya penginderaan jauh, untuk memprediksi dan memantau potensi ancaman meteorologi maritim secara real-time. Sistem peringatan dini memiliki beberapa komponen utama yaitu pemahaman risiko, pemantauan bencana, penyebaran informasi dan kemampuan tanggap bencana untuk meminimalisir risiko adanya korban jiwa dan kerusakan infrastruktur akibat bencana hidrometeorologi yang sering terjadi akibat perubahan iklim (Coughlan de Perez et al., 2022). Empat komponen tersebut sangat bergantung pada ketersediaan informasi geospasial yang akurat, berkelanjutan, dan dapat diinterpretasikan secara operasional. Di sinilah *Geospatial Intelligence* (GEOINT) berperan

sebagai kerangka strategis yang mengintegrasikan data penginderaan jauh, model meteorologi oseanografi, dan output analitis untuk mendukung proses pengambilan keputusan operasional. *Geospasial Intelejen* atau GEOINT adalah disiplin ilmu dan praktik yang menggabungkan pengumpulan, analisis, dan interpretasi data geospasial seperti citra satelit, foto udara, data radar, peta, dan data cuaca untuk mendapatkan pemahaman mendalam tentang kondisi dan situasi geografis suatu wilayah tertentu guna mendukung pengambilan keputusan strategis, terutama dalam bidang pertahanan, keamanan, dan intelijen. GEOINT tidak hanya menyediakan peta atau citra statis, tetapi juga berfungsi sebagai sistem intelijen spasial yang menyatukan data satelit, model numerik, dan analisis spasio-temporal untuk menghasilkan situational awareness yang komprehensif terhadap ancaman cuaca maritim dan dinamika lingkungan laut. GEOINT juga memiliki kemampuan dalam mengidentifikasi potensi ancaman, mendukung perencanaan, serta memantau kondisi secara *real-time* (Rahmandala et al., 2024). Menurut (Kim, 2014) efektivitas operasional GEOINT pada bidang pertahanan sangat bergantung pada penerapan tata kelola yang komprehensif, koordinasi antar lembaga dan sistem informasi yang terintegrasi dengan tujuan memastikan kelancaran proses akuisisi, analisis, dan penyebaran intelijen untuk mendukung pengambilan keputusan strategis dan taktis.

Menurut (Spencer et al., 2003), teknologi penginderaan juga memainkan peran penting dalam memantau kondisi infrastruktur, lingkungan, dan sistem bangunan, seperti pemantauan deteksi dini kebakara, maupun pemantauan dan observasi terhadap berbagai aktivitas. Penginderaan jauh, melalui satelit seperti MODIS, Sentinel, dan SAR, telah berkembang menjadi pilar utama dalam sistem informasi cuaca kelautan dan kini berperan sebagai fondasi utama dalam pengembangan sistem GEOINT maritim modern. Sensor-sensor

ini memungkinkan pengamatan suhu permukaan laut, tinggi gelombang, kecepatan angin, kelembaban udara, tutupan, serta perubahan muka laut secara kontinu. Seperti contoh, citra satelit Sentinel-2 dapat digunakan secara efektif untuk menghasilkan peta bathymetri yang akurat di wilayah pesisir (Viaña-Borja et al., 2025), sehingga pemanfaatan citra satelit menjadi elemen penting dalam menyediakan informasi vital bagi sistem peringatan dini dan prediksi ancaman jangka pendek hingga menengah, yang mendukung proses pengambilan keputusan dan pengelolaan wilayah pesisir secara efektif (Turner et al., 2021). GEOINT juga berperan dalam mendukung transportasi laut dengan mengintegrasikan data statis, dinamis, dan geospasial pelabuhan, sehingga analisis pola lalu lintas kapal dapat ditingkatkan secara lebih akurat (Li et al., 2024). Dalam kerangka GEOINT, data tersebut tidak berdiri sendiri, tetapi melalui proses pengolahan, analisis, dan divisualisasikan dalam sistem informasi geospasial untuk mendukung prediksi ancaman, simulasi skenario cuaca ekstrem, serta penentuan wilayah risiko tinggi. Teknologi penginderaan yang mengintegrasikan *Artificial Intelligence* (AI) secara substansial meningkatkan presisi, kepekaan, dan fleksibilitas di berbagai bidang, sekaligus meningkatkan performa perangkat dan pengembangan aplikasi baru (Chen et al., 2024). Teknologi ini memungkinkan pengamatan atmosfer, suhu permukaan laut, pola angin, dan dinamika awan dalam skala luas dan waktu yang konsisten.

Perkembangan terbaru mengintegrasikan penginderaan jauh dengan AI dan analitik Big Data untuk meningkatkan akurasi pemantauan dan pengambilan keputusan strategis, termasuk dalam ketahanan nasional (Raju et al., 2024). Namun, meskipun aplikasinya telah banyak diadopsi dalam konteks ilmiah dan sipil, belum terdapat pemetaan ilmiah yang mengungkap struktur pengetahuan, tren tematik, serta kolaborasi ilmuwan dalam ranah sistem peringatan dini cuaca maritim berbasis remote sensing secara sistematis. Literatur tentang cuaca maritim, teknologi satelit, dan sistem peringatan dini masih tersebar dalam berbagai bidang keilmuan, tanpa adanya pemetaan pengetahuan yang menjelaskan keterkaitan antar riset tersebut saling terhubung dalam kerangka GEOINT maritim. Akibatnya,

terdapat kesenjangan antara kemajuan teknologi penginderaan jauh dan kemampuannya untuk diintegrasikan secara optimal dalam sistem intelijen maritim dan kebijakan pertahanan laut dalam mendukung keamanan jalur logistik laut nasional, terutama pada wilayah strategis yang rawan cuaca ekstrem dan berperan penting dalam proyeksi kekuatan pada keamanan maritim. Literatur yang tersedia umumnya bersifat sektoral dan teknis, belum mengungkap pola kolaborasi ilmuwan, dominasi negara, maupun perkembangan tema-tema riset yang menjadi dasar pembentukan GEOINT dalam sistem peringatan dini maritim.

Dalam keamanan dan pertahanan maritim, teknologi penginderaan bawah air telah berkembang pesat, dengan sensor akustik dan optik yang mampu meningkatkan akurasi dan efisiensi pemantauan lingkungan laut (Sun et al., 2021). Perkembangan ini juga mendorong pemanfaatan robot bawah air dalam survei dan eksplorasi kelautan, dimana sistem penginderaan memungkinkan robot bawah melakukan pemetaan, navigasi, serta deteksi objek dan rintangan (Cong et al., 2021; Liu et al., 2024). Pada jalur pelayaran internasional yang memiliki wilayah sempit seperti leher botol (*choke points*) dan perbatasan laut sangan rentan terhadap dampak cuaca ekstrem yang dapat mengganggu kelancaran logistik, melemahkan kesiapan militer, dan keamanan ekonomi nasional. Tanpa pemahaman berbasis GEOINT yang memadai untuk memahami perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi penginderaan jauh, suatu negara berpotensi mengembangkan sistem peringatan dini yang terfragmentasi dan kurang selaras dengan kebutuhan ketahanan infrastruktur. GEOINT juga berperan dalam mengidentifikasi pola lalu lintas kapal, menganalisis navigasi, serta mendeteksi anomali di perairan laut (Yang et al., 2019). Sehingga, diperlukan pendekatan analitis yang tidak hanya mendata tetapi juga mampu menganalisis dinamika, dan arah perkembangan riset global mengenai penginderaan jauh, sistem peringatan dini, dan GEOINT maritim secara komprehensif.

Bibliometrik analisis menjadi metode yang tepat untuk menjawab kesenjangan tersebut. Analisis bibliometrik mampu meningkatkan efektivitas, akurasi, dan produktivitas penelitian ilmiah dengan

menyediakan kerangka kerja yang terstruktur, berbasis data, dan berorientasi pada hasil (Pessin et al., 2023). Dengan menganalisis ribuan publikasi ilmiah dari pangkalan data terkemuka seperti Scopus, pendekatan ini mampu mengidentifikasi tren riset global, kolaborasi antar negara dan institusi, serta pemetaan topik-topik utama yang berkembang dalam sistem peringatan dini berbasis penginderaan jauh, serta mengungkap klaster tematik yang membentuk lanskap ilmiah GEOINT untuk maritim. Lebih dari itu, visualisasi jaringan pengetahuan melalui VOSViewer memungkinkan pembaca untuk memahami lanskap ilmiah secara strategis dan terstruktur. VOSViewer juga mampu menguraikan berbagai jenis pemetaan melalui bibliometrik untuk menganalisis informasi yang diperoleh serta dapat memanfaatkan fitur visualisasi overlay dan ketebalan (Al Husaeni & Nandiyanto, 2022). Dalam kerangka ini, bibliometri tidak hanya menjadi alat statistik, tetapi juga instrumen intelijen ilmiah (*scientific intelligence*) yang mendukung pengambilan keputusan strategis.

Penelitian ini secara khusus menempatkan *Geospatial Intelligence* sebagai jembatan antara penginderaan jauh dan sistem peringatan dini cuaca maritim dengan dimensi kebijakan pertahanan laut. Ketahanan dan keandalan sistem maritim mempertimbangkan interaksi strategis antar pelabuhan serta risiko gangguan yang kompleks dalam jaringan maritim (Asadabadi & Hooks, 2020). Pembangunan infrastruktur pelabuhan yang tahan terhadap cuaca ekstrem dan kesiapsiagaan militer untuk mendukung keamanan maritim yang bergantung pada informasi meteorologi akurat, pemetaan riset ini menjadi dasar penting dalam menyusun kebijakan yang berbasis bukti ilmiah. Keberadaan sistem deteksi dini yang terintegrasi tidak hanya menjawab aspek keselamatan pelayaran, tetapi juga menjadi bagian dari postur pertahanan maritim yang adaptif. Pemetaan bibliometri yang dihasilkan akan memberikan dasar empiris bagi pengembangan sistem peringatan dini cuaca maritim yang relevan secara strategis bagi ketahanan infrastruktur pelabuhan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada pengembangan pengetahuan akademik, tetapi juga memberikan rekomendasi praktis bagi pembuat kebijakan,

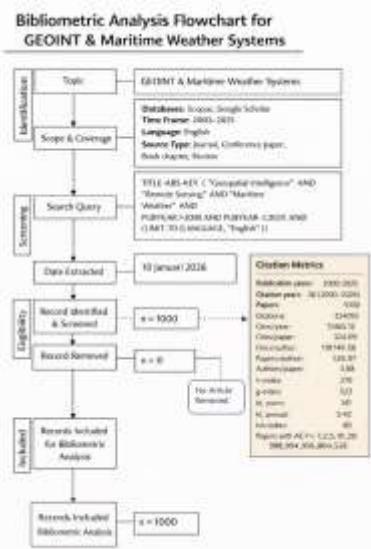
militer, dan sektor maritim sipil. Hasil pemetaan ini diharapkan dapat menjadi landasan bagi agenda riset nasional ke depan yang lebih kolaboratif, interdisipliner, dan responsif terhadap tantangan keamanan maritim berbasis iklim. Di tengah meningkatnya ancaman iklim terhadap sistem logistik dan keamanan laut, sinergi antara ilmu geospasial, penginderaan jauh dan kebijakan pertahanan maritim melalui kerangka GEOINT menjadi kebutuhan mendesak untuk mewujudkan ketahanan maritim yang adaptif dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan bibliometrik untuk memetakan lanskap pengetahuan mengenai *Geospatial Intelligence* (GEOINT) dalam konteks sistem peringatan dini cuaca maritim berbasis penginderaan jauh. Analisis bibliometrik merumuskan sejumlah indikator serta memanfaatkan pemetaan pengetahuan untuk menyajikan representasi visual tentang topik penelitian dan keterkaitannya dengan objek kajian (Prieto-Jiménez et al., 2021). Bibliometrik menyediakan kerangka sistematis untuk mengidentifikasi tren riset, struktur kolaborasi, dan fokus tematik publikasi ilmiah dalam periode studi yang ditetapkan. Pendekatan ini digunakan sebagai metode kuantitatif untuk menelaah literatur dalam skala besar untuk menganalisis pola perkembangan publikasi, tingkat pengaruh ilmiah, serta struktur pengetahuan dalam bidang yang diteliti (Donthu et al., 2021). Pendekatan ini menggabungkan analisis kuantitatif dan visualisasi jaringan yang memungkinkan pemetaan pengetahuan tidak hanya berdasarkan jumlah publikasi, tetapi juga hubungan sitasi, kolaborasi institusional, kata kunci bersama (*co-occurrence*), serta kekuatan intelektual topik yang berkembang. Analisis dilakukan dengan mengombinasikan indikator kuantitatif, seperti jumlah publikasi per tahun, total sitasi, h-index, sumber jurnal dan *science mapping* melalui visualisasi jaringan. Integrasi analisis bibliometrik dan *science mapping* dalam satu sistem terpadu dapat meningkatkan kualitas dan efisiensi proses pemetaan pengetahuan ilmiah (Pessin et al., 2022). Visualisasi jaringan dilakukan dengan pemetaan hubungan ilmiah secara lebih dalam, seperti jaringan kolaborasi

penulis, institusi, atau negara (*co-authorship*), keterkaitan sitasi (*citation atau co-citation*), serta keterhubungan kata kunsi (*co-occurrence*) yang menggambarkan klaster tema dan evolusi topik riset (Zupic & Cater, 2014). Pada tahap pemetaan jaringan, penelitian memanfaatkan VOSviewer untuk membangun dan menampilkan peta bibliometrik secara mudah diinterpretasikan, terutama untuk dataset yang besar (Van Eck., & Waltman, 2010). Selain itu, proses penelusuran dan pengelolaan awal data bibliografi menggunakan *Publish or Perish* yang memfasilitasi pengambilan dan perhitungan metrik sitasi dari berbagai sumber data. Menurut (Al Husaeni & Nandyianto, 2022), VOSviewer yang dipadukan dengan *Harzing's Publish or Perish* (PoP) merupakan alat yang efektif dan praktis untuk melakukan analisis bibliometrik secara sistematis, terutama bagi pengguna pemula, serta mampu memetakan perkembangan dan struktur pengetahuan suatu bidang secara visual dan kuantitatif. Pemanfaatan VOSviewer dan Publish or Perish juga dapat menghasilkan pemetaan spasial hubungan tematik dan kolaboratif dari topik-topik penelitian secara komprehensif (Goksu, 2021).

Alur metodologi penelitian ini disajikan secara ringkas dan sistematis dalam flowchart dibawah ini, yang menunjukkan mulai dari tahapan pengumpulan, penyaringan, dan pemilihan data bibliografi hingga terbentuk dataset akhir untuk analisis bibliometrik, dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini:



Gambar 1. Alur Penelitian

Pada Flowchart menggambarkan proses penelitian yang diawali dengan penetapan ruang lingkup kajian yang mencakup tema mengenai GEOINT dan sistem cuaca maritim. Basis data yang digunakan bersumber dari Scopus dan Google Scholar dengan periode publikasi selama 25 tahun yaitu periode tahun 2000-2025, serta jenis dokumen yang dianalisis yaitu berupa jurnal, conference paper, dan review. Tahap berikutnya adalah perumusan string pencarian dengan kata kunci “TITLE-ABS-KEY” yang memastikan bahwa hanya publikasi yang relevan dengan geospatial intelligence, penginderaan jauh, dan cuaca maritim. Seluruh rekaman yang teridentifikasi kemudian disaring dan diverifikasi kelayakannya sebelum dimasukkan ke dalam dataset akhir. Informasi metrik sitasi yang disajikan dalam flowchart menunjukkan karakteristik kuantitatif korpus data yang dianalisis, seperti jumlah publikasi, total sitasi, dan indeks dampak ilmiah yang selanjutnya menjadi dasar bagi pemetaan jaringan pengetahuan menggunakan VOSviewer. VOSviewer digunakan untuk visualisasi pemetaan jaringan bibliometrik, dan Publish or Perish untuk menghitung nilai h-index penulis dan publikasi yang paling berpengaruh (Goksu, 2021). Flowchart penelitian ini dapat dijadikan sebagai kerangka penelitian untuk menelusuri bagaimana data bibliografi dikumpulkan, divalidasi, dan diarsipkan guna menghasilkan analisis bibliometrik yang andal dan relevan bagi kajian GEOINT maritim.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Berdasarkan tabel 1 mengenai *citation metric*, kumpulan data ilmiah yang dianalisis pada penelitian ini mencakup 1.000 publikasi ilmiah mengenai GEOINT, penginderaan jauh, dan sistem peringatan dini maritim yang terbit dalam rentang waktu tahun 2000 - 2025 selama 25 tahun. Dalam kurun waktu tersebut, jumlah total sitasi yang terkumpul mencapai 324.093 yang menunjukkan tingkat pengaruh ilmiah yang tinggi dan berkelanjutan dari kumpulan publikasi tersebut. Rata-rata sitasi per tahun sebesar 12.465,12 mengindikasikan bahwa karya-karya mengenai GEOINT terhadap penginderaan jauh dan sistem peringatan dini maritim terus dirujuk

secara intensif dari waktu ke waktu. Sementara itu, rata-rata sitasi per artikel mencapai 324,09, yang memperlihatkan bahwa setiap publikasi memiliki pengaruh yang signifikan dalam komunitas ilmiah, hal ini menandakan bahwa topik yang diteliti berpengaruh dalam penelitian global.

Tabel 1. Sitasi Metrik hasil pengolahan data Publish or Perish (PoP) untuk kata kunci GEOINT, Penginderaan Jauh & Sistem Peringatan Dini Cuaca Maritim (2000 - 2025)

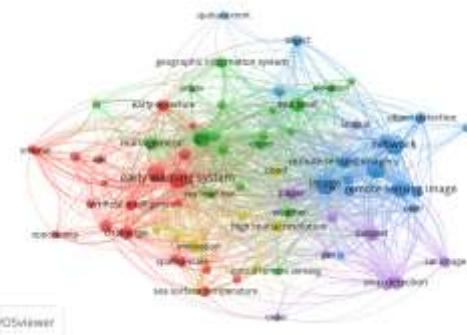
Citation Metrics	Value
Publication years	2000 - 2025
Citation years	25
Papers	1.000
Citation	324.093
Cites/year	12.465,12
Cites/paper	324,09
Cites/author	118.749,58
Papers/author	326,07
Author/paper	3,88
h-index	270
g-index	523
hA-index	83

Tabel di atas juga menjelaskan dari sisi kontribusi penulis, terdapat rata-rata 118.749 sitasi per penulis yang menunjukkan bahwa para penulis yang terlibat merupakan peneliti ilmiah yang sangat produktif. Dengan rata-rata 326,07 artikel per penulis dan 3,88 penulis per artikel, sehingga dapat disimpulkan bahwa penelitian ilmiah dengan topik GEOINT terhadap penginderaan jauh dan sistem peringatan dini maritim memiliki hasil kolaborasi ilmiah yang tinggi dan didominasi oleh kelompok penelitian besar. Indikator kinerja sitasi juga menunjukkan kualitas intelektual yang sangat kuat. Nilai h-index sebesar 270 berarti sedikitnya 270 publikasi telah masing-masing dikutip minimal 270 kali, hal ini mencerminkan adanya sejumlah besar karya inti (*core literature*) yang menjadi rujukan fundamental. Nilai g-index sebesar 523 menunjukkan bahwa publikasi dengan sitasi tinggi (*highly cited papers*) sangat dominan dan indeks ini menekankan kontribusi artikel-artikel dengan pengaruh yang signifikan. Berikutnya, nilai hA-index sebesar 83 menunjukkan bahwa artikel-artikel yang masuk dalam h-core memiliki

rata-rata sekitar 83 sitasi, yang menandakan tingkat pengaruh ilmiah yang kuat dari artikel-artikel utama. Secara keseluruhan, metrik-metrik ini menegaskan bahwa penelitian GEOINT terhadap penginderaan jauh dan sistem peringatan dini maritim memiliki basis literatur yang bagus, berpengaruh besar, dan tersusun secara sistematis, dengan jaringan kolaborasi para penulis yang kuat serta publikasi-publikasi yang menjadi acuan bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan perumusan kebijakan berbasis ilmiah.

Pembahasan

Visualisasi bibliometrik yang dihasilkan melalui *software* VOSviewer merepresentasikan struktur pengetahuan dan pola keterkaitan antar topik penelitian global dalam bidang *Geospatial Intelligence* (GEOINT), penginderaan jauh, dan sistem peringatan dini maritim. Jing et al, 2023, menegaskan bahwa pemetaan bibliometrik berperan penting dalam mengungkap dinamika tren, struktur pengetahuan, dan peluang riset lanjutan di bidang teknologi, serta menyediakan kerangka dan pedoman untuk penerapan secara sistematis. Peta jaringan ini dibangun dari analisis *co-occurrence* kata kunci yang diekstraksi dari publikasi ilmiah terindeks Scopus dan Google Scholar, sehingga menampilkan keterkaitan antara konsep, metode, dan aplikasi utama dalam bidang ini saling berhubungan dan berkembang secara kolektif dalam literatur global.



Gambar 2. Visualisasi Jejaring “Network Visualization of GEOINT, Remote Sensing, and Maritime Early Warning System”

Berdasarkan visualisasi *Network Visualization* pada Gambar 2 diatas, hasil analisis bibliometrik memperlihatkan struktur intelektual dan pola

keterkaitan tema riset yang sangat kompleks dan saling terintegrasi. Peta ini diperoleh dari 74 kata kunci *co-occurrence* yang terkelompok ke dalam 5 klaster tematik dengan 919 *links* (hubungan) dan total *link strength* (kekuatan tautan) sebesar 1.858, hal ini menunjukkan tingkat koherensi dan kepadatan hubungan antar topik yang sangat tinggi. Secara umum, peta jaringan tersebut menunjukkan bahwa pusat gravitasi penelitian berada pada simpul “early warning system”, “remote sensing image”, “classification”, “network”, dan “GIS”. Kata kunci ini memiliki node yang besar dan total link strength yang banyak, yang berarti memiliki frekuensi kemunculan tinggi dan peran sentral dalam menghubungkan berbagai tema penelitian.

Rangkuman hasil klasterisasi *keyword* dari analisis bibliometrik menggunakan VOSviewer yang memetakan struktur tematik penelitian dalam bidang GEOINT, penginderaan jauh, dan sistem peringatan dini maritim. Setiap klaster merepresentasikan satu kelompok tema yang memiliki hubungan kuat berdasarkan kemunculan bersama (*co-occurrence*) dalam publikasi ilmiah, dapat dilihat pada Tabel.2 berikut:

Tabel 2. Klasterisasi Kata Kunci dari Analisis Bibliometrik dalam bidang GEOINT, penginderaan jauh, dan sistem peringatan dini maritim

Cluster	Items	Keyword
Cluster 1	21	Artificial intelligence, atmosphere, challenge, comprehensive review, early detection, early warning system, internet, opportunity, overview, perspective, platform, progress, recent advance, remotely, sea surface temperature, spatial scale, technology, thing, tool, UAV, unmanned aerial vehicle
Cluster 2	19	Article, case, china, climate change, effect, elevation, evaluation, figure, geographic information, geographical information, GIS, impact, management,

		optical remote sensing, remote sensing technique, sea level, sea level rise, spatial pattern, weather
Cluster 3	16	Change detection, classification, convolution neural network, extraction, image, network, object, object detection, pixel, region, remote sensing image, remote sensing imagery, small target detection, spatial extent, spatial information, term
Cluster 4	9	Cloud, example, high spatial resolution, integration, marine environment, remote sensor, SAR, space, temporal resolution
Cluster 5	9	Dataset, GEO, landsat, order, paper, SAR image, sentinel, ship, ship detection

Cluster 1 merepresentasikan dimensi teknologi cerdas dan sistem peringatan dini, klaster ini berfokus pada pengembangan sistem peringatan dini berbasis *Artificial Intelligence* dan platform observasi modern. Selain itu, klaster ini juga membahas tantangan implementasi dan arah perkembangan teknologi dalam pemantauan cuaca dan lingkungan maritim.

Cluster 2 menggambarkan fondasi analisis spasial dan manajemen lingkungan, yang terfokus pada pemodelan perubahan lingkungan laut dan atmosfer dalam kerangka sistem informasi geografis. Klaster ini berfungsi sebagai jembatan antara data penginderaan jauh dan aplikasi kebijakan serta pengelolaan risiko, khususnya terkait kenaikan muka laut, perubahan iklim, dan evaluasi dampak ekstrem.

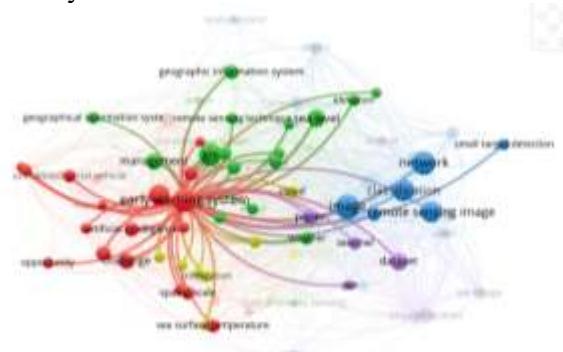
Cluster 3 mewakili dari inti metodologis analisis citra berbasis AI, seperti istilah classification, pixel, image menggambarkan bahwa klaster ini berfokus pada pengolahan citra penginderaan jauh menggunakan deep learning. Klaster ini juga memungkinkan untuk mendeteksi otomatis objek, perubahan lingkungan, dan fenomena cuaca ekstrem dari data satelit.

Cluster 4 menggambarkan karakteristik data resolusi tinggi dan integrasi lingkungan maritim. Kata kunci pada klaster ini menunjukkan bahwa adanya keterkaitan antara penggunaan data satelit

resolusi tinggi dan multisensor untuk merepresentasikan dinamika laut dan atmosfer secara lebih detail.

Cluster 5 berfokus pada data dan aplikasi keamanan maritim. Klaster ini menunjukkan bahwa publikasi ilmiah juga menekankan pemanfaatan arsip data satelit global untuk mendeteksi kapal dan aktivitas maritim yang relevan bagi pengawasan wilayah laut, dan keamanan maritim.

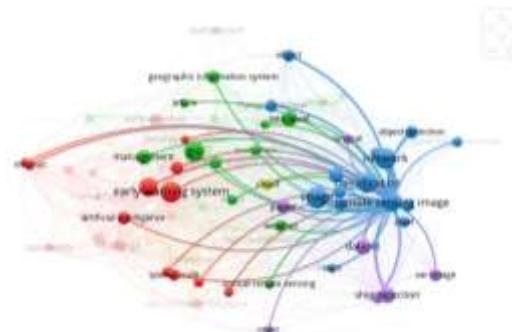
a) Visualisasi Jejaring “Early Warning System”



Gambar 3. Visualisasi Jejaring “Early Warning System”

Node “early warning system” tampil sebagai simpul terbesar dengan 90 occurrence, 49 link, dan total link strength sebanyak 156, menjadikan kata kunci early warning system sebagai pusat gravitasi seluruh jaringan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem peringatan dini merupakan tema inti dalam literatur GEOINT maritim, memiliki hubungan yang sangat kuat dengan AI, spatial scale, UAV, dan GIS yang menandakan bahwa early warning system sebagai sistem dengan platform terintegrasi yang menggabungkan penginderaan jauh, pemodelan cuaca, dan kecerdasan buatan.

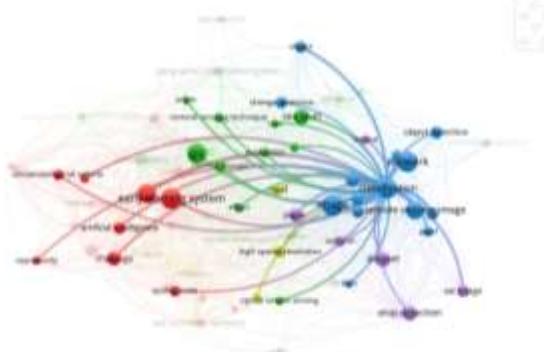
b) Visualisasi Jejaring “Remote Sensing Image”



Gambar 4. Visualisasi Jejaring “Remote Sensing Image”

Visualisasi “remote sensing image” dengan 68 occurrence, 44 link, dan total link strength 148 menempati posisi strategis sebagai jembatan antara data dan analitik. Keterkaitan dengan Landsat, Sentinel, SAR image, dan object detection menunjukkan bahwa citra satelit merupakan komponen utama dalam sistem GEOINT yang menyediakan informasi spasial beresolusi tinggi untuk memantau laut, atmosfer, dan aktivitas maritim.

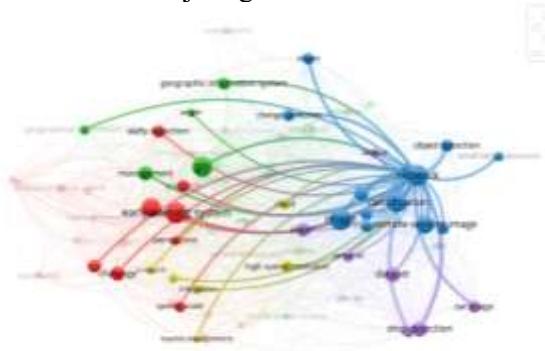
c) Visualisasi Jejaring “Classification”



Gambar 5. Visualisasi Jejaring “Classification”

Visualisasi node “classification” dengan 76 occurrence, 40 link, dan total link strength 146 menunjukkan peran sebagai mesin pemrosesan informasi yang berhubungan kuat dengan image, network, dataset, object detection, pixel, dan remote sensing image. Hal ini menandakan bahwa metode klasifikasi menjadi pilar utama dalam mengekstraksi informasi dari citra satelit dalam mendeteksi objek dan pola yang diamati.

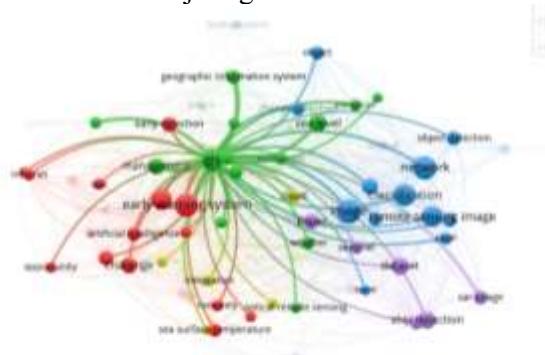
d) Visualisasi Jejaring “Network”



Gambar 6. Visualisasi Jejaring “Network”

Jejaring “network” dengan 86 occurrence, 38 link, total link strength 150 berfungsi sebagai kerangka pemodelan dan integrasi. Kata kunci network hubungannya kuat dengan classification, remote sensing image, dan GIS, hal ini menunjukkan bahwa riset modern menggunakan arsitektur jaringan untuk menghubungkan berbagai jenis data dan algoritma, yang memperlihatkan bahwa GEOINT bukan lagi hanya pemetaan statis tetapi dapat bersifat data driven dan AI-centric.

e) Visualisasi Jejaring “GIS”

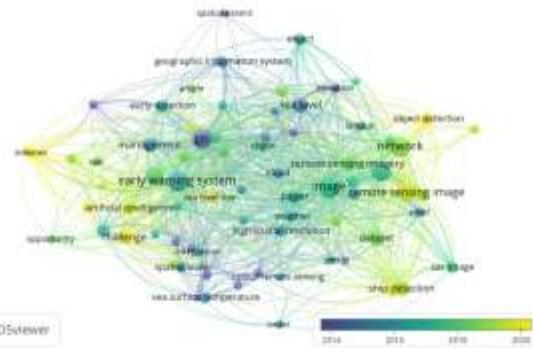


Gambar 7. Visualisasi Jejaring “GIS”

Pada visualisasi jejaring “GIS” dengan 81 occurrence, 50 link, 149 total link strength, menunjukkan bahwa GIS berperan sebagai platform integratif yang menggabungkan hasil analisis citra, klasifikasi AI, dan model cuaca ke dalam peta risiko, zonasi kerawanan, dan sistem pendukung pengambilan keputusan. Keterkaitan yang kuat dengan aspek management dan evaluation menegaskan peran strategis GIS

dalam kebijakan, operasional, serta pengelolaan risiko maritim.

f) Visualisasi Jejaring “Overlay Visualization of GEOINT”



Gambar 8. Visualisasi Jejaring “Overlay Visualization of GEOINT, Remote Sensing, and Maritime Early Warning System”

Visualisasi “Overlay” pada peta jejaring VOSviewer diatas menunjukkan dimensi temporal perkembangan riset dalam bidang GEOINT, penginderaan jauh, dan sistem peringatan dini maritim. Gradasi warna dari biru ke hijau merepresentasikan penelitian yang lebih awal (\pm 2014 - 2018), kemudian pergeseran menuju ke arah warna kuning memperlihatkan penelitian yang lebih terbaru (\pm 2020). Perkembangan riset dalam bidang ini diawali dengan pendekatan berbasis GIS, dan pemodelan variabel oseanografi, seperti sea level dan sea surface temperature, kemudian menuju fase integrasi data dengan basis remote sensing, dataset, dan early warning system, hingga memasuki fase mutakhir yang didominasi oleh AI, pemanfaatan citra SAR, Landsat, dan Sentinel. Dari hasil Overlay Visualization menegaskan bahwa fokus penelitian global telah beralih dari pemetaan dan observasi ke arah sistem GEOINT berbasis AI yang mampu melakukan deteksi dini, dan pemantauan risiko cuaca ekstrem.

g) Visualisasi Jejaring “Density Visualization”



Gambar 9. Visualisasi Jejaring “Density Visualization of GEOINT, Remote Sensing, and Maritime Early Warning System”

Visualisasi “Density” ini memperlihatkan tingkat kepadatan dan intensitas perhatian riset dalam bidang GEOINT dan sistem peringatan dini maritim. Area yang berwarna kuning terang menandakan topik yang paling sering muncul dan menjadi sentral dalam literatur. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian global terkonsentrasi pada integrasi penginderaan jauh, analisis berbasis jaringan dan kecerdasan buatan, serta sistem informasi geografis untuk membangun sistem peringatan dini yang andal. Area yang berwarna hijau hingga biru menunjukkan topik pendukung yang berfungsi sebagai komponen teknis dan tematik yang memperkaya sistem utama. Secara keseluruhan, peta dari density visualization ini menjelaskan bahwa GEOINT maritim membentuk satu ekosistem yang terpusat pada pengolahan citra satelit dan GIS untuk deteksi dini risiko maritim dengan dukungan teknologi AI.

KESIMPULAN

Berdasarkan pemetaan analisis Bibliometrik terhadap 1000 publikasi ilmiah sepanjang periode tahun 2000 - 2025, penelitian ini menunjukkan bahwa kajian GEOINT, penginderaan jauh, dan sistem peringatan dini maritim telah membentuk ekosistem pengetahuan yang matang, berdampak tinggi, dan terintegrasi. Struktur tematiknya berpusat pada early warning system, remote sensing image, classification, network, dan GIS sebagai simpul inti yang menghubungkan data satelit,

analitik berbasis AI, serta integrasi spasial untuk mendukung kebijakan pengambilan keputusan. Visualisasi overlay menegaskan evolusi dari pendekatan pemetaan dan observasi konvensional menuju GEOINT berbasis AI dan big data untuk mendukung kebutuhan deteksi dini dan pemantauan risiko, sedangkan visualisasi density menunjukkan konsentrasi riset tertinggi pada integrasi citra satelit, AI, dan GIS sebagai elemen utama bagi sistem peringatan dini yang andal. Hasil temuan ini menegaskan bahwa GEOINT telah bertransformasi dari alat pemetaan menjadi intelijen spasial prediktif yang berperan krusial dalam ketahanan infrastruktur maritim, serta kesiapsiagaan pertahanan maritim. Hasil penelitian ini memberikan rekomendasi perlunya percepatan agenda riset dan implementasi menuju integrasi operasional GEOINT berbasis AI dengan GIS untuk menghasilkan peta risiko dinamis dan peringatan dini real-time pada koridor pelayaran dan pelabuhan strategis. Selain itu, pemangku kebijakan dan institusi pertahanan disarankan membangun arsitektur data multisensor yang terintegrasi agar hasil analitik dapat langsung digunakan dalam manajemen risiko, dan diperlukan adanya kolaborasi lintas sektoral antara sipil, militer, akademisi untuk menjembatani kesenjangan riset dalam penerapan kebijakan pertahanan laut dan memastikan kemajuan teknologi satelit dan AI berkontribusi nyata terhadap peningkatan resiliensi maritim nasional.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan, yaitu analisis bibliometrik bergantung pada kata kunci dan metadata, sehingga variasi istilah, sinonim, atau inkonsistensi penandaan dapat mempengaruhi pembentukan klaster dan kekuatan keterkaitan topik. Pendekatan bibliometrik ini memetakan struktur dan tren pengetahuan, tetapi tidak secara langsung menguji kinerja operasional dari sistem peringatan dini atau efektivitas kebijakan pertahanan di lapangan. Sehingga, temuan perlu dilengkapi dengan studi empiris, uji sistem, dan analisis kebijakan agar rekomendasi yang dihasilkan dapat diterapkan secara lebih akurat dan kontekstual.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Husaeni, D. F., & Nandiyanto, A. B. D. (2022). Bibliometric Using Vosviewer with Publish or Perish (using Google Scholar data): From Step-by-step Processing for Users to the Practical Examples in the Analysis of Digital Learning Articles in Pre and Post Covid-19 Pandemic. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 2(1), 19–46.
<https://doi.org/10.17509/ajse.v2i1.37368>
- Asadabadi, A., & Hooks, E. M. (2020). Maritime Port Network Resiliency and Reliability Through co-opetition. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 137:101916.<https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101916>
- Chen, L., Xia, C., Zhao, Z., Fu, H., & Chen, Y. (2024). *AI-Driven Sensing Technology: Review*.
- Cong, Y., Gu, C., Zhang, T., & Gao, Y. (2021). Underwater robot sensing technology: A survey. *Fundamental Research*, 1(3), 337–345.
<https://doi.org/10.1016/j.fmre.2021.03.002>
- Coughlan de Perez, E., Berse, K. B., Depante, L. A. C., Easton-Calabria, E., Evidente, E. P. R., Ezike, T., Heinrich, D., Jack, C., Lagmay, A. M. F. A., Lendelvo, S., Marunye, J., Maxwell, D. G., Mursched, S. B., Orach, C. G., Pinto, M., Poole, L. B., Rathod, K., Shampa, & Van Sant, C. (2022). Learning from the past in moving to the future: Invest in communication and response to weather early warnings to reduce death and damage. *Climate Risk Management*, 38(August), 100461.
<https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100461>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133:285–296.
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Goksu, I. (2021). Bibliometric mapping of mobile learning. *Telematics and Informatics*.
<https://doi.org/10.1016/j.tele.2020.101491>
- Hossain, N. U. I., El Amrani, S., Jaradat, R., Marufuzzaman, M., Buchanan, R., Rinaudo, C., & Hamilton, M. (2020). Modelling and Assessing Interdependencies between Critical Infrastructures using Bayesian Network: A Case Study of Inland Waterway Port and Surrounding Supply Chain Network. *Reliability Engineering & System Safety*, 98:106898.
<https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106898>
- Jing, Y., Wang, C., Chen, Y., Wang, H., Yu, T., & Shadiev, R. (2023). Bibliometric mapping techniques in educational technology research: A systematic literature review. *Education and Information Technologies*.
<https://doi.org/10.1007/s10639-023-12178-6>
- Kim, D. H. (2014). A Study on the Defense Geospatial Intelligence Governance - Focusing on the Intelligence Community and LandWarNet. *Journal of Korea Spatial Information Society*, 22(1), 19–26.
<https://doi.org/10.12672/ksis.2014.22.1.019>
- Li, G., Zhang, X., Jiang, L., Wang, C., Huang, R., & Liu, Z. (2024). An approach for traffic pattern recognition integration of ship AIS data and port geospatial features. *Geo-Spatial Information Science*, 27(6), 2048–2075.
<https://doi.org/10.1080/10095020.2024.2308715>
- Liu, Y., Wang, S., Xie, Y., Xiong, T., & Wu, M. (2024). A Review of Sensing Technologies for Indoor Autonomous Mobile Robots. *Sensors*, 24, 1222.
<https://doi.org/10.3390/s24041222>
- Pessin, V. Z., Santos, C. A. S., Yamane, L. H., Siman, R. R., Baldam, R. de L., & Júnior, V. L. (2023). A method of Mapping Process for scientific production using the Smart Bibliometrics. *MethodsX*, 11(February), 102367.
<https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102367>
- Pessin, V. Z., Yamane, L. H., & Siman, R. R. (2022). Smart bibliometrics: an integrated method of science mapping and bibliometric analysis. *Scientometrics*, 127(6), 3695–3718.
<https://doi.org/10.1007/s11192-022-04406-6>
- Prieto-Jiménez, E., López-Catalán, L., López-

- Catalán, B., & Domínguez-Fernández, G. (2021). Sustainable development goals and education: A bibliometric mapping analysis. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su13042126>
- Rahmandhala, I. D., Supriyadi, A. A., & Prihanto, Y. (2024). *Geospatial Intelligent Analysis to Support Indonesian Airspace Defense*. 3(9), 2149–2168.
- Raju, C. M., Elpa, D. P., & Urban, P. L. (2024). Automation and Computerization of (Bio)sensing Systems. *ACS Sensors*, 9(3), 1033–1048. <https://doi.org/10.1021/acssensors.3c01887>
- Spencer, B. F. (2003). Opportunities and challenges for smart sensing technology. *Structural Health Monitoring and Intelligent Infrastructure - Proceedings of the 1st International Conference on Structural Health Monitoring and Intelligent Infrastructure*, 1(180), 65–71.
- Sun, K., Cui, W., & Chen, C. (2021). Review of underwater sensing technologies and applications. *Sensors*, 21(23), 1–28. <https://doi.org/10.3390/s21237849>
- Turner, I. L., Harley, M. D., Almar, R., & Bergsma, E. W. J. (2021). Satellite optical imagery in Coastal Engineering. *Coastal Engineering*, 167, 103919. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2021.103919>
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84:523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Viaña-Borja, S. P., González-Villanueva, R., Alejo, I., Stumpf, R. P., Navarro, G., & Caballero, I. (2025). Satellite-derived bathymetry using Sentinel-2 in mesotidal coasts. *Coastal Engineering*, 195(June 2024). <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2024.104644>
- Yaddanapudi, R., Mishra, A., Huang, W., & Chowdhary, H. (2022). Compound Wind and Precipitation Extremes in Global Coastal Regions Under Climate Change. *Geophysical Research Letters*, 49(15). <https://doi.org/10.1029/2022GL098974>
- Yang, D., Wu, L., Wang, S., Jia, H., & Li, K. X. (2019). *How big data enriches maritime research*. 2019, 1–22. <https://doi.org/10.1177/10944281145626>
- Zupic, I., & Cater, T. (2014). Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*, 18:3. <https://doi.org/10.1177/10944281145626>