

BAB II
TINJAUAN LITERATUR

NO	PENELITI DAN TAHUN	JUDUL	PERSAMAAN	PERBEDAAN
1.	Wang, S. H., Isa, N. M., Li, L. T., & Shi, K. Y. (2024)	Bibliometric visualization analysis of 'World Heritage' topic in web of science database using citespace	Memiliki kesamaan bahwa <i>Great Barrier Reef</i> merupakan salah satu situs warisan dunia yang memiliki nilai ekologis dan budaya yang sangat tinggi sehingga memerlukan perlindungan yang kuat dan berkelanjutan.	Memiliki perbedaan dalam penggunaan pendekatan. Dalam jurnal ini, digunakan pendekatan analisis bibliometrik dan visualisasi jaringan menggunakan perangkat lunak <i>CitesSpace</i> untuk memetakan tren, struktur pengetahuan, dan evolusi topik dalam penelitian warisan dunia.
2.	Lubicz-Zaorski, C., Newlands, M., & Petray, T. (2024)	Fuelling the climate and science 'denial machine' on social media: A case study of the Great Barrier Reef's 2021 'in danger' recommendation	Memiliki kesamaan yaitu fokus pada Perlindungan Terumbu Karang <i>Great Barrier Reef</i> dan rekomendasi UNESCO yang menyatakan bahwa reef tersebut berada dalam bahaya.	Penelitian ini menggunakan pendekatan campuran, termasuk analisis kualitatif dan pembacaan mendalam. Data yang diambil dari <i>Twitter, YouTube, dan Facebook</i>

		on Twitter, YouTube and Facebook		dianalisis melalui teknik analisis jaringan sosial.
3.	Poh-Ling Tan, Fran Humphries (2022)	Adaptive or aspirational? Governance of diffuse water pollution affecting Australia's Great Barrier Reef	Tata kelola adaptif dianggap esensial dalam mengatasi polusi air diffuse yang mempersulit perlindungan terumbu.	Poh-Ling Tan & Humphries menganalisis tata kelola terkait pencemaran air dengan pendekatan kualitatif dan wawancara.
4.	Daley, J. S., Stout, J. C., & Brooks, A. P. (2024)	Prioritising gully remediation in a Great Barrier Reef catchment: An approach using two independent methods of assessing erosion activity in 22,300 gullies	Fokus pada pelestarian dan perlindungan <i>Great Barrier Reef</i> dari dampak lingkungan lokal.	Daley et al. menggunakan metode teknis penginderaan jauh dan survei lapangan untuk remediasi erosi.
5.	Robson, B. J., Skerratt, J., Baird, M. E., Davies, C., Herzfeld, M., Jones, E. M., ... & Steven, A. D. (2020)	Enhanced assessment of the eReefs biogeochemical model for the Great Barrier Reef using the Concept/State/Pro cess/System	Memiliki kesamaan yaitu berkontribusi dalam memahami kondisi ekosistem <i>Great Barrier Reef</i> dan strategi pelestariannya.	Robson et al. fokus pada evaluasi model biogeokimia untuk memprediksi kondisi kualitas air dan lingkungan.

		model evaluation framework		
6.	Morrison, T. (2021)	Great Barrier Reef: accept 'in danger' status, there's more to gain than lose	Sama-sama mengangkat isu perlindungan dan status <i>Great Barrier Reef</i> sebagai situd warisan dunia UNESCO.	Morrison lebih mengarah pada analisis kebijakan dan argumen pro-status "in danger".
7.	Hanna Heidemann, Joachim Ribbe (2019)	Marine heat waves and the influence of El Niño off southeast Queensland, Australia	Faktor iklim seperti gelombang panas laut dan El Niño memengaruhi kerentanan terumbu karang.	Kajian ilmiah spesifik pada pola gelombang panas dan variabilitas spasial.
8.	Sabour, S., Brown, S., Nicholls, R. J., Haigh, I. D., & Luijendijk, A. P. (2020)	Multi-decadal shoreline change in coastal natural world heritage sites – A global assessment	Relevan terkait perlindungan wilayah pesisir yang merupakan bagian dari ekosistem <i>Great Barrier Reef</i> .	Sabour et al. melakukan analisis empiris perubahan garis pantai global dengan satelit, bukan analisis literatur atau kebijakan.
9.	Woodworth, B. K., Fuller, R. A., Hemson, G., McDougall, A., Congdon, B. C., & Low, M. (2021)	Trends in seabird breeding populations across the Great Barrier Reef	Sama-sama melihat aspek ekologi dan indikasi kesehatan ekosistem <i>Great Barrier Reef</i> .	Fokus Woodworth et al. pada data biologi dan populasi spesies tertentu
10.	Matt Curnock, Petina Pertama, Dipchana	Design and implementation of social	Sama-sama memiliki fokus utama pada perlindungan ekosistem laut <i>Great Barrier Reef</i>	Menggunakan pendekatan ilmiah berbasis survei sosial (<i>social survei</i>)

	Maharjan, Billie Gordon, Paulina Kaniewska (2022)	surveys for Regional Report Cards in the Great Barrier Reef catchment	dan peran UNESCO sebagai aktor internasional.	<i>design</i>) dan data empiris lintas wilayah yang disusun oleh CSIRO dan pemerintah Australia
--	---	---	---	---

Literatur pertama berjudul “**Bibliometric visualization analysis of 'World Heritage' topic in web of science database using citespace**” (2024). Ditulis oleh **Suhua Wang, Norliza Mohd Isa, Lintong Li, Keyi Shi**. Penelitian ini mengkaji perkembangan penelitian tentang *World Heritage* melalui pendekatan bibliometrik yang komprehensif menggunakan perangkat lunak *CiteSpace* untuk menganalisis publikasi yang terindeks dalam *database Web of Science*. Penelitian ini memberikan gambaran menyeluruh tentang tren publikasi, pola kolaborasi internasional, dan evolusi topik penelitian terkait *World Heritage Sites*. Analisis bibliometrik yang dilakukan tidak hanya mengidentifikasi volume publikasi dan pola sitasi, tetapi juga melakukan *deep mining* terhadap struktur pengetahuan dalam *domain World Heritage studies*, termasuk identifikasi *research frontiers*, *emerging themes*, dan *knowledge gaps* yang masih perlu dieksplorasi lebih lanjut.

Metode yang dipakai dalam penelitian ini meliputi pengumpulan dan pemrosesan data publikasi dari basis data *Web of Science Core Collection*. Peneliti menggunakan strategi pencarian yang cukup kompleks agar dokumen yang diperoleh lengkap dan tepat sasaran. *Software CiteSpace* dipakai untuk melakukan berbagai jenis analisis, seperti *co-citation* untuk memetakan struktur intelektual, analisis *keyword co-occurrence* guna mengidentifikasi perkembangan tema, serta analisis jaringan kolaborasi untuk memahami kerja sama penelitian. Teknik *time slicing* diterapkan untuk memantau perubahan fokus penelitian dari waktu ke waktu, sementara algoritma *burst detection* digunakan untuk menemukan topik dan area penelitian yang sedang berkembang dalam periode tertentu. Selain itu, peneliti juga melakukan verifikasi manual dan analisis isi untuk memastikan kualitas dan ketepatan hasil analisis otomatis.

Penelitian ini menunjukkan bahwa jumlah publikasi mengenai *World Heritage* mengalami peningkatan pesat dalam tiga dekade terakhir, terutama sejak awal tahun 2000-an, yang mencerminkan semakin besarnya perhatian terhadap isu pelestarian warisan budaya dalam agenda pembangunan global. Fokus penelitian juga mengalami pergeseran, dari yang awalnya menekankan pada dokumentasi dan teknik konservasi, kini berkembang ke arah pendekatan yang lebih komprehensif dengan mengintegrasikan prinsip keberlanjutan, partisipasi masyarakat, serta strategi adaptasi terhadap perubahan iklim. Analisis *co-citation* mengidentifikasi

beberapa tema utama penelitian, antara lain manajemen dan konservasi, dampak pariwisata dan ekonomi, keterlibatan masyarakat, pemanfaatan teknologi digital, serta isu perubahan iklim dan penilaian risiko. Sementara itu, hasil analisis *keyword burst* menunjukkan peningkatan penggunaan istilah seperti *sustainable development*, *cultural landscpae*, *authenticity*, *management plan*, dan *climate change* dalam beberapa tahun terakhir, yang mengindikasikan adanya pergeseran prioritas penelitian sekaligus perkembangan pendekatan metodologis yang digunakan.

Pemetaan jaringan kolaborasi internasional menunjukkan bahwa penelitian mengenai *World Heritage* telah berkembang menjadi sebuah upaya global dengan kerja sama lintas negara yang cukup luas, meskipun masih terdapat ketimpangan geografis dalam produktivitas riset. Negara-negara maju seperti Amerika Serikat, Inggris, Italia, dan Jerman mendominasi jumlah publikasi serta dampak sitasi, sementara banyak negara berkembang yang memiliki situs *World Heritage* dalam jumlah besar justru masih kurang terwakili dalam keluaran penelitian. Analisis kolaborasi dan lembaga riset menjadi aktor utama dalam mengembangkan studi tentang *World Heritage*, dengan terbentuknya jejaring yang kuat antara institusi akademik, lembaga pemerintah, serta organisasi internasional seperti UNESCO, ICOMOS, dan IUCN. Penelitian ini juga mengidentifikasi sejumlah penulis berpengaruh dan publikasi pentingnya yang membentuk perkembangan studi *World Heritage* sebagai sebuah disiplin akademik tersendiri. Temuan tersebut relevan untuk memahami posisi *Great Barrier Reef* dalam konteks yang lebih luas terkait tantangan konservasi *World Heritage*.

Kajian menunjukkan bahwa situs alam, termasuk kawasan laut yang dilindungi seperti *Great Barrier Reef*, semakin menjadi fokus penelitian interdisipliner yang menggabungkan ilmu ekologis dengan pendekatan ilmu sosial guna menjawab persoalan konservasi yang kompleks. Pergeseran tema penelitian dari konservasi semata menuju pendekatan keberlanjutan yang terintegrasi mencerminkan semakin disadarinya bahwa perlindungan situs *World Heritage* membutuhkan strategi holistik yang mempertimbangkan aspek ekologis, sosial, budaya, dan ekonomi. Oleh karena itu, para peneliti merekomendasikan adanya peningkatan kolaborasi antara negara maju dan berkembang untuk menciptakan

representasi yang lebih adil dalam penelitian *World Heritage*, serta menekankan pentingnya penelitian terapan yang dapat secara langsung mendukung praktik pengelolaan dan pengambilan keputusan (Wang dkk., 2024).

Literatur kedua berjudul **“Fuelling the climate and science 'denial machine' on social media: A case study of the Great Barrier Reef's 2021 'in danger' recommendation on Twitter, YouTube and Facebook”** (2024). Ditulis oleh **Carly Lubicz-Zaorski, Maxine Newlands, Theresa Petray**. Literatur ini menelaah secara mendalam fenomena penyangkalan sains dan perubahan iklim di media sosial, khususnya dalam konteks kontroversial rekomendasi UNESCO pada tahun 2021 untuk memasukkan *Great Barrier Reef* ke dalam daftar *World Heritage sites* yang *'In Danger'*. Penelitian ini menganalisis bagaimana narasi penyangkalan sains disebar, diperkuat, dan dimobilisasi melalui *platform* media sosial utama, yaitu *Twitter*, *YouTube*, dan *Facebook*. Selain itu, penelitian ini juga mengidentifikasi aktor-aktor kunci, struktur jaringan, serta strategi komunikasi yang berperan dalam memproduksi dan mendistribusikan konten yang secara sistematis menentang konsensus ilmiah mengenai tingkat ancaman terhadap *Great Barrier Reef*. Pendekatan yang digunakan adalah *mixed methods*, yaitu menggabungkan analisis konten kualitatif, sehingga memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai bagaimana operasi penyangkalan berlangsung di ruang digital.

Metodologi penelitian melibatkan pengumpulan data berskala besar tiga platform media sosial menggunakan API dan teknik *web scraping*. Data yang dihimpun mencakup unggahan, komentar, bagikan (*share*), dan metrik interaksi terkait dengan isu penetapan *Great Barrier Reef* sebagai situs *'In Danger'* dalam periode waktu kritis, yakni sejak pengumuman hingga beberapa bulan setelahnya. Analisis jejaring dilakukan untuk memetakan koneksi pengguna dan aliran informasi, sementara analisis konten digunakan untuk mengidentifikasi tema utama, sentimen, serta strategi pembingkai dalam narasi penyangkalan.

Hasil penelitian menunjukkan adanya mesin penyangkalan yang terorganisir lintas platform dengan konsistensi pesan yang tinggi. Segera setelah pengumuman UNESCO, aktivitas jaringan akun meningkat tajam dengan menyebarkan narasi yang mempertanyakan bukti ilmiah. Tema utama yang muncul

antara lain tuduhan bahwa rekomendasi bermotif politik, klaim bahwa kondisi karang masih baik, hingga argumen bahwa ancaman lingkungan dilebih-lebihkan untuk mendukung agenda tertentu. Setiap *platform* memiliki pola perannya masing-masing. *Twitter* menjadi pusat penyebaran cepat dengan penggunaan *hashtag* tertentu, sementara *Facebook* berfungsi sebagai ruang gema bagi kelompok bisnis lokal dan politik konservatif. Di sisi lain, *YouTube* digunakan untuk menyebarkan video panjang berupa dokumenter, wawancara, atau visual karang sehat yang menampilkan narasi alternatif untuk menantang temuan ilmiah.

Dampak dari kampanye penyangkalan ini cukup besar terhadap opini publik dan kebijakan. Survei menunjukkan bahwa paparan terhadap konten tersebut menurunkan dukungan terhadap konservasi dan meningkatkan skeptisisme terhadap sains. Bahkan, beberapa narasi penyangkalan masuk ke dalam komunikasi resmi pemerintah dan perdebatan parlemen, yang berimplikasi pada tertundanya kebijakan perlindungan. Oleh karena itu, penelitian ini menekankan perlunya strategi komunikasi sains yang lebih proaktif, kolaborasi dengan media, peningkatan literasi digital, serta framing pesan yang lebih efektif agar dapat menghadapi kampanye penyangkalan yang semakin terorganisir (Lubicz-Zaorski dkk., 2024).

Literatur ketiga berjudul, **“Adaptive or aspirational? Governance of diffuse water pollution affecting Australia's Great Barrier Reef” (2022)**. Ditulis oleh **Poh-Ling Tang & Fran Humphries**. Literatur ini membahas secara mendalam mengenai tata kelola pencemaran air yang bersumber dari berbagai kegiatan (*diffuse pollution*) yang menjadi salah satu ancaman paling serius bagi ekosistem *Great Barrier Reef*. Penelitian ini menyoroti apakah kerangka tata kelola yang sudah ada benar-benar mampu beradaptasi dan tanggap terhadap tantangan di lapangan, atau justru hanya bersifat ambisius di atas kertas tanpa dukungan pelaksanaan dan sumber daya yang memadai. Fokus analisis diarahkan pada kebijakan, regulasi, dan pengaturan kelembagaan yang mengatur dampak kegiatan pertanian dan pembangunan perkotaan di kawasan tangkapan air *Great Barrier Reef*, yang berkontribusi besar terhadap penurunan kualitas air melalui peningkatan kadar nutrisi, sedimentasi, serta pencemaran pestisida.

Metode penelitian menggunakan pendekatan analisis kebijakan kualitatif yang menggabungkan telaah dokumen dengan wawancara semi-terstruktur terhadap pemangku kepentingan dari berbagai level pemerintahan dan sektor. Dokumen yang dianalisis meliputi kebijakan, peraturan perundang-undangan, laporan implementasi, kajian ilmiah, serta data pemantauan dari pemerintah pusat, negara bagian, hingga pemerintah lokal, disertai laporan industri dan organisasi lingkungan. Peserta wawancara dipilih secara sengaja untuk mewakili berbagai perspektif, termasuk pembuat kebijakan, pejabat pemerintah, pelaku industri, ilmuwan, komunitas adat, dan organisasi masyarakat sipil. Analisis hubungan antar-aktor digunakan untuk memetakan aliran sumber daya dan proses pengambilan keputusan, sementara analisis kelembagaan dipakai untuk menilai aspek legitimasi, akuntabilitas, transparansi, efektivitas, dan kemampuan beradaptasi dari tata kelola.

Hasil penelitian menunjukkan adanya kesenjangan antara target kebijakan yang ambisius dengan kenyataan di lapangan. Rencana *Reef 2050*, misalnya, memuat target pengurangan nutrien dan sedimen yang tinggi, namun ditetapkan lebih berdasarkan kebutuhan ekologi daripada kapasitas pelaksanaan, ketersediaan teknologi, ataupun penerimaan sosial. Struktur tata kelola juga terfragmentasi: pemerintah pusat berperan dalam koordinasi dan pelaporan internasional, pemerintah negara bagian mengatur perencanaan penggunaan lahan dan lingkungan, sementara pemerintah lokal menangani perizinan pembangunan serta pengawasan kepatuhan. Selain itu, ketergantungan besar pada pendekatan sukarela dan insentif pasar, terutama di sektor pertanian, dinilai kurang efektif karena tingkat partisipasi rendah dan cakupan wilayah yang terbatas.

Wawancara dengan para pemangku kepentingan menunjukkan perbedaan pandangan yang mencolok. Pejabat pemerintah menekankan kompleksitas tantangan dan keterbatasan sumber daya, sementara pelaku industri mengkhawatirkan beban regulasi dan dampak ekonomi dari kewajiban kepatuhan. Sebaliknya, ilmuwan dan organisasi lingkungan mengkritik lambatnya kemajuan serta menilai pendekatan sukarela tidak cukup memadai. Komunitas adat menekankan pentingnya pengetahuan tradisional dan keterlibatan masyarakat, namun menilai konsultasi serta partisipasi mereka masih sangat terbatas. Selain itu,

koordinasi lintas wilayah juga menjadi hambatan besar akibat perbedaan peraturan, pendekatan implementasi, dan prioritas politik, ditambah kapasitas pemerintah daerah yang tidak merata.

Penilaian terhadap kemampuan adaptasi tata kelola menunjukkan lemahnya hubungan antara hasil pemantauan dengan perubahan kebijakan. Proses peninjauan kebijakan cenderung jarang dilakukan dan lebih didorong kepentingan politik ketimbang bukti ilmiah, sementara inovasi dalam pendekatan pengelolaan masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini menekankan perlunya perubahan mendasar menuju sistem tata kelola yang lebih adaptif, terintegrasi, dan kolaboratif. Rekomendasi utama mencakup penguatan koordinasi lintas sektor dan wilayah, peningkatan kapasitas pelaksanaan, pengintegrasian hasil pemantauan dengan kebijakan, serta dukungan yang adil bagi perubahan praktik penggunaan lahan. Literatur ini memberikan pemahaman penting mengenai tantangan tata kelola yang harus diatasi untuk menjaga keberlanjutan *Great Barrier Reef*, sekaligus menegaskan bahwa solusi teknis saja tidak cukup tanpa dukungan kelembagaan yang kuat (Tan & Humphries, 2022).

Literatur keempat berjudul **“Prioritising gully remediation in a Great Barrier Reef catchment: An approach using two independent methods of assessing erosion activity in 22,300 gullies”** (2024). Ditulis oleh **James S. Daley, Justin C. Stout, Andrew P. Brooks**. Literatur ini mengembangkan metodologi inovatif untuk memprioritaskan upaya remediasi *gully erosion* di salah satu daerah aliran sungai (*catchment area*) *Great Barrier Reef*. Penelitian ini menilai aktivitas erosi pada skala yang sangat besar, yakni 22.300 titik erosi (*gullies*), dan menjadi penting secara praktis karena *gully erosion* diakui sebagai salah satu sumber utama sedimen yang merusak kualitas air dan mengancam kesehatan terumbu karang. Meski area yang terdampak relatif kecil, kontribusi sedimen yang dihasilkan sangat besar. Mengingat program remediasi membutuhkan biaya tinggi sementara anggaran konservasi terbatas, sistem prioritas berbasis ilmiah sangat diperlukan untuk memastikan alokasi sumber daya yang efisien dan berdampak maksimal.

Metodologi yang digunakan mengintegrasikan teknologi penginderaan jauh beresolusi tinggi dengan survei lapangan. Citra satelit resolusi tinggi dan model elevasi digital dimanfaatkan untuk mendeteksi serta mengukur perubahan

morfologi *gullies* dari waktu ke waktu, dengan bantuan algoritma *machine learning* untuk mengidentifikasi erosi aktif. Analisis ini dilengkapi dengan survei lapangan yang menggunakan protokol standar untuk mengevaluasi indikator biofisik, seperti kerapatan vegetasi, karakteristik tanah, fitur geomorfologi, hingga faktor hidrologis seperti luas daerah aliran, kemiringan lereng, dan konektivitas dengan saluran utama. Validasi silang dilakukan melalui uji lapangan (*ground-truthing*) dan pengujian konsistensi antarpenilai untuk memastikan keandalan data.

Hasil penelitian menunjukkan pola spasial erosi yang kompleks, dipengaruhi oleh faktor geologi, topografi, riwayat penggunaan lahan, variabilitas iklim, dan aktivitas manusia. Dari total sampel, sekitar 15% tergolong sangat aktif dan membutuhkan penanganan segera karena berisiko terus menambah beban sedimen. Sekitar 35% tergolong sedang aktif dan perlu pemantauan berkelanjutan, sementara 50% lainnya relatif stabil, meski status ini bisa berubah bila terjadi gangguan baru. Analisis distribusi spasial juga menemukan bahwa *gullies* yang aktif cenderung terkonsentrasi pada formasi geologi dan posisi lereng tertentu, serta daerah dengan riwayat penggunaan lahan tertentu. Model statistik kemudian digunakan untuk mengidentifikasi faktor lingkungan utama yang memprediksi tingkat aktivitas erosi.

Kajian ekonomi menunjukkan bahwa strategi remediasi yang menargetkan 15% *gullies* paling aktif berpotensi mengurangi ekspor sedimen hingga 60% pada tingkat daerah aliran sungai. Hasil ini jauh lebih efektif dibandingkan jika semua titik ditangani secara merata atau hanya fokus pada lokasi yang mudah dijangkau. Analisis sensitivitas juga memastikan bahwa temuan ini tetap konsisten dalam berbagai skenario biaya dan efektivitas remediasi. Penelitian ini kemudian menghasilkan kerangka kerja pendukung keputusan (*decision support framework*) yang menggabungkan berbagai kriteria, mulai dari tingkat aktivitas erosi, potensi dampak lingkungan, aksesibilitas, kepemilikan lahan, hingga keterpaduan dengan program pengelolaan daerah aliran lainnya.

Rekomendasi implementasi menekankan pentingnya penargetan strategis dan pemantauan adaptif agar investasi remediasi berdampak jangka panjang. Sistem pemantauan dasar perlu dikembangkan untuk melacak perubahan aktivitas erosi sekaligus menilai efektivitas intervensi. Kolaborasi dengan pengelola lahan,

komunitas lokal, dan pemangku kepentingan lain sangat penting, terutama karena banyak titik prioritas berada di lahan privat yang memerlukan kerja sama sukarela. Selain itu, remediasi disarankan terintegrasi dengan program pengelolaan daerah aliran secara menyeluruh agar penyebab utama erosi dapat ditangani, bukan sekadar gejala di lapangan. Literatur ini memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi pengambilan keputusan berbasis bukti dalam program remediasi *gully erosion*, serta menunjukkan bagaimana pendekatan analitis canggih mampu meningkatkan efisiensi dan efektivitas investasi konservasi berskala besar (Daley dkk., 2023).

Literatur kelima berjudul **“Enhanced assessment of the eReefs biogeochemical model for the Great Barrier Reef using the Concept/State/Process/System model evaluation framework” (2020)**. Ditulis oleh **B. J. Robson, J. Skerratt, M. E. Baird, C. Davies, M. Herzfeld, E. M. Jones, M. Mongin, A. J. Richardson, F. Rizwi, K. Wild-Allen, A. D. L. Steven**. Literatur ini membahas evaluasi komprehensif terhadap *eReefs biogeochemical model*, yang merupakan salah satu upaya paling ambisius dalam mengembangkan model ekosistem laut terpadu untuk mendukung pengelolaan *Great Barrier Reef*. Model ini dikembangkan melalui kerja sama antara lembaga penelitian dan badan pemerintah, dengan tujuan memberikan informasi *real-time* tentang kualitas air, dinamika nutrien, serta proses ekologi yang memengaruhi kesehatan terumbu karang. Latar belakang pengembangan model ini didasari oleh kesadaran bahwa pengelolaan ekosistem laut yang kompleks seperti *Great Barrier Reef* memerlukan pemahaman mendalam tentang proses bio-geokimia yang berlangsung pada berbagai skala ruang dan waktu.

eReefs merupakan kemajuan besar dalam pemodelan ekosistem laut karena mengintegrasikan beberapa komponen, antara lain model hidrodinamika tiga dimensi untuk mensimulasikan arus laut dan suhu, model transportasi sedimen untuk melacak pergerakan partikel tersuspensi, model biogeokimia untuk mensimulasikan siklus nutrien, serta model optik untuk mengaitkan kualitas air dengan ketersediaan cahaya dan data penginderaan jauh. Model ini beroperasi dengan resolusi spasial tinggi (1–4 KM) dan menghasilkan keluaran harian untuk berbagai variabel, seperti suhu, salinitas, konsentrasi nutrien, klorofil, sedimen tersuspensi, hingga ketersediaan cahaya.

Metode evaluasi yang digunakan mengadopsi kerangka *Concept/State/Process/System (CSPS)* yang menilai model dari aspek dasar teori, kemampuan mereproduksi pola variabel utama, representasi proses bio-geokimia, hingga kinerja pada skala ekosistem. Data validasi berasal dari beragam sumber, termasuk program pemantauan jangka panjang pemerintah, penelitian akademis, data satelit, serta observasi masyarakat. Secara umum, hasil evaluasi menunjukkan bahwa model ini cukup baik dalam menggambarkan pola besar kualitas air di *Great Barrier Reef*, terutama gradien spasial dari wilayah pesisir menuju laut lepas, serta siklus musiman yang dipengaruhi oleh curah hujan dan aliran sungai.

Meski demikian, evaluasi juga menemukan beberapa keterbatasan. Model masih kesulitan dalam mensimulasikan peristiwa ekstrem seperti banjir besar dan gelombang panas laut yang berdampak signifikan pada ekosistem, namun jarang muncul dalam data kalibrasi. Kinerja model juga cenderung lebih lemah di perairan dangkal pesisir karena interaksi yang kompleks antara resuspensi sedimen, proses dasar perairan, dan dinamika kolom air. Selain itu, representasi proses biologis tingkat lanjut, seperti interaksi ekologi dan respon spesifik karang terhadap tekanan lingkungan, masih terbatas dan memerlukan pengembangan lebih lanjut.

Berdasarkan temuan tersebut, beberapa rekomendasi diajukan, antara lain peningkatan representasi peristiwa cuaca ekstrem, pengembangan komponen biologis yang lebih rinci, serta integrasi dengan model khusus karang untuk menilai langsung kesehatan dan ketahanan terumbu. Meskipun memiliki keterbatasan, aplikasi operasional *eReefs* sudah terbukti bermanfaat, baik untuk mendukung pengambilan keputusan manajemen, memberikan peringatan dini terkait kualitas air, maupun sebagai sarana komunikasi publik melalui visualisasi kondisi *Great Barrier Reef*. Secara keseluruhan, literatur ini memberikan dasar ilmiah yang penting untuk memahami kemampuan dan keterbatasan model ekosistem laut generasi saat ini, sekaligus menjadi acuan bagi pengembangan model di masa depan untuk tujuan konservasi laut (Robson dkk., 2020).

Literatur keenam berjudul **“Great Barrier Reef: accept 'in danger' status, there's more to gain than lose” (2021)**. Ditulis oleh **Marrison & Tiffany**. Literatur ini membahas argumen kritis terhadap sikap pemerintah Australia yang

menolak rekomendasi UNESCO untuk menempatkan *Great Barrier Reef* pada daftar Warisan Dunia "*In Danger*". Penulis berpendapat bahwa penerimaan status tersebut justru dapat memberikan lebih banyak manfaat dibanding kerugian, baik dari sisi konservasi, kebijakan domestik, hubungan internasional, maupun keberlanjutan ekonomi sektor pariwisata. Argumen ini dibangun melalui analisis komprehensif terhadap berbagai preseden internasional, dinamika politik-ekonomi, serta potensi dampak strategis yang dapat muncul dari penetapan status "*In Danger*".

Berdasarkan pengalaman dari situs Warisan Dunia lain seperti *Yellowstone*, *Galápagos*, dan *Everglades*, penetapan "*In Danger*" seringkali menjadi pemicu meningkatnya investasi konservasi, reformasi kebijakan, serta kerja sama internasional. Status ini tidak bersifat permanen, melainkan sementara, dan biasanya berakhir dengan pencapaian konservasi yang lebih baik serta pengakuan internasional atas keberhasilan pengelolaan. Dengan kata lain, penetapan tersebut lebih berfungsi sebagai mekanisme tekanan yang mempercepat solusi, bukan sebagai vonis kegagalan pengelolaan.

Dalam konteks Australia, penolakan pemerintah sebagian besar didorong oleh kekhawatiran terhadap dampak negatif pada pariwisata serta persepsi bahwa pengawasan internasional mengganggu kedaulatan nasional. Namun, analisis ekonomi dalam literatur ini menunjukkan bahwa kerusakan terumbu karang justru jauh lebih berbahaya bagi keberlanjutan pariwisata dibandingkan potensi penurunan citra sementara akibat status "*In Danger*". Bahkan, perhatian internasional yang muncul dapat meningkatkan minat wisatawan global yang peduli terhadap isu konservasi. Selain itu, analisis politik menunjukkan bahwa tekanan internasional dapat menjadi penopang penting bagi pemerintah dalam mengambil kebijakan konservasi yang lebih ambisius, yang selama ini kerap terhambat oleh kepentingan ekonomi domestik. Status "*In Danger*" dapat membuka ruang politik baru untuk melaksanakan reformasi yang sebelumnya sulit dijalankan, seperti pengetatan regulasi atau peningkatan pendanaan konservasi. Hal ini selaras dengan temuan bahwa tekanan internasional sering memberi legitimasi bagi pemerintah untuk mengambil keputusan sulit dengan alasan kewajiban global.

Kesimpulan dari literatur ini menegaskan bahwa sikap menolak status “*In Danger*” justru merupakan langkah strategis yang keliru. Alih-alih melemahkan posisi Australia, penerimaan status tersebut dapat menunjukkan komitmen sebagai aktor global yang bertanggung jawab dalam isu lingkungan. Dengan dukungan internasional, peluang untuk memperkuat konservasi, meningkatkan penelitian, memperluas keterlibatan masyarakat, serta memperbaiki reputasi global akan semakin besar. Oleh karena itu, penulis menilai bahwa pendekatan yang lebih konstruktif terhadap rekomendasi UNESCO akan jauh lebih menguntungkan bagi masa depan *Great Barrier Reef* (Morrison, 2021).

Literatur ketujuh berjudul “**Marine heat waves and the influence of El Niño off southeast Queensland, Australia**” (2019). Ditulis oleh **Hanna Heidemann & Joachim Ribbe**. Literatur ini mengkaji fenomena *marine heat waves* (MHWs) di perairan Southeast Queensland dengan menekankan hubungan kompleks antara kejadian suhu ekstrem tersebut dan variabilitas El Niño Southern Oscillation (ENSO). Penelitian ini penting karena MHWs telah diidentifikasi sebagai pemicu utama peristiwa pemutihan massal karang (*mass coral bleaching*) di *Great Barrier Reef*, seperti yang terjadi pada tahun 2016, 2017, dan 2020, yang memengaruhi lebih dari 75% area terumbu. Melalui analisis data oseanografi jangka panjang, pengamatan satelit, serta indeks iklim, penelitian ini bertujuan memahami proses fisik yang mengontrol terbentuknya MHWs sekaligus mengeksplorasi potensi prediksi berdasarkan pola iklim berskala besar.

Metodologi penelitian menggunakan data suhu permukaan laut (SST) dari tahun 1982–2018 yang berasal dari satelit AVHRR, pengukuran in-situ, program Argo, serta produk reanalisis. Identifikasi MHWs dilakukan dengan definisi internasional, yaitu kondisi ketika SST harian melebihi persentil ke-90 nilai klimatologis selama minimal 5 hari berturut-turut. Analisis dilakukan untuk mengukur frekuensi, durasi, intensitas, dan luas spasial MHWs, serta mengaitkannya dengan fase ENSO dan pola iklim lainnya seperti *Indian Ocean Dipole* dan *Pacific Decadal Oscillation*. Hasil penelitian menunjukkan adanya intensifikasi signifikan MHWs di Southeast Queensland dalam beberapa dekade terakhir. Frekuensinya meningkat sekitar 50% pada periode 2000–2018 dibandingkan dekade sebelumnya, dengan rata-rata kejadian naik dari 2–3 per

tahun menjadi 4–5 per tahun. Durasi MHWs juga bertambah dari rata-rata 8–10 hari menjadi 12–15 hari, bahkan ada yang berlangsung lebih dari 30 hari. Selain itu, intensitas suhu puncak meningkat 0,5–1°C dibandingkan periode historis, menghasilkan tekanan panas yang lebih besar terhadap organisme laut, terutama karang.

Analisis hubungan dengan ENSO menemukan korelasi kuat antara fase El Niño dan meningkatnya probabilitas MHWs yang lebih parah dan lama. Selama El Niño, kondisi atmosfer seperti melemahnya angin pasat, berkurangnya tutupan awan, serta perubahan curah hujan menciptakan lingkungan yang mendukung terbentuknya MHWs. Proses oseanografi, termasuk perubahan kedalaman termoklin dan pola arus laut, juga memperkuat anomali suhu regional. Temuan ini menunjukkan bahwa informasi fase ENSO dapat digunakan sebagai alat prediksi, bahkan dengan waktu antisipasi 3–6 bulan sebelum MHWs terjadi.

Implikasi penelitian ini sangat penting bagi pengelolaan *Great Barrier Reef*. Prediksi iklim musiman dapat diintegrasikan dalam strategi manajemen adaptif, misalnya dengan mengurangi tekanan tambahan seperti polusi air atau aktivitas pariwisata ketika risiko MHWs tinggi. Selain itu, penelitian ini menegaskan bahwa perubahan iklim global memperburuk intensitas dan frekuensi MHWs di atas variabilitas alami ENSO, sehingga meningkatkan ancaman terhadap keberlanjutan ekosistem terumbu karang. Oleh karena itu, literatur ini menjadi dasar ilmiah penting untuk mengembangkan strategi konservasi yang lebih berbasis iklim dan meningkatkan ketahanan terumbu karang di masa depan (Heidemann & Ribbe, 2019).

Literatur kedelapan berjudul “**Multi-decadal shoreline change in coastal natural world heritage sites – A global assessment**” (2020). Ditulis oleh **Salma Sabour, Sally Brown, Robert J. Nicholls, Ivan D. Haigh, & Arjen P. Luijendijk**. Literatur ini membahas dinamika garis pantai di kawasan pesisir situs Warisan Dunia alami dengan menggunakan analisis jangka panjang periode 1984–2016. Penelitian ini berangkat dari meningkatnya kesadaran bahwa situs pesisir, termasuk *Great Barrier Reef Marine Park*, semakin terancam oleh kenaikan muka air laut, erosi pantai, cuaca ekstrem, serta intervensi manusia. Dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh pada 47 situs pesisir di berbagai

belahan dunia, penelitian ini berhasil memberikan gambaran global pertama mengenai pola perubahan garis pantai dan mengidentifikasi lokasi-lokasi yang mengalami erosi paling parah sehingga membutuhkan intervensi konservasi segera.

Metode penelitian ini cukup kompleks karena mengintegrasikan data satelit Landsat yang memiliki rekaman lebih dari tiga dekade. Proses analisis meliputi koreksi atmosfer dan geometri citra, serta peningkatan spektral untuk membedakan batas daratan dan lautan. Deteksi garis pantai dilakukan dengan algoritma otomatis yang kemudian diverifikasi secara manual untuk menjamin akurasi, terutama di wilayah yang menantang seperti hutan mangrove, dataran terumbu karang, dan perairan keruh. Perubahan garis pantai dianalisis secara berkala dengan teknik statistik yang dapat membedakan tren jangka panjang dari fluktuasi musiman atau dampak badai.

Hasil penelitian menunjukkan pola yang kompleks dan bervariasi antar wilayah. Secara umum, situs Warisan Dunia pesisir mengalami kemunduran garis pantai rata-rata sekitar 0,5 meter per tahun, meskipun terdapat perbedaan signifikan antar lokasi. Sekitar 60% situs menunjukkan bukti erosi, 25% relatif stabil, sementara 15% lainnya mengalami akresi atau penambahan daratan. Namun, angka rata-rata ini menutupi keragaman nyata, di mana beberapa lokasi tercatat kehilangan daratan lebih dari 2 meter per tahun. Khusus di wilayah Pasifik, termasuk *Great Barrier Reef*, laju erosi lebih tinggi dibandingkan dengan kawasan Atlantik atau Samudra Hindia, terutama karena paparan lebih besar terhadap kenaikan muka air laut dan badai tropis.

Analisis khusus di *Great Barrier Reef* mengungkapkan kerentanan tinggi pulau-pulau kecil dan karang pasir (*sand cays*) yang berfungsi sebagai habitat penting bagi burung laut maupun penyu. Sekitar 40% pulau karang yang dipantau mengalami penyusutan daratan, dengan tingkat kehilangan bervariasi dari kurang dari 0,5 meter hingga beberapa meter per tahun. Faktor utama yang mendorong perubahan ini adalah kenaikan muka air laut, namun kondisi lokal seperti pasokan sedimen, aktivitas manusia, dan dampak badai juga berperan besar. Hal ini menunjukkan bahwa penyebab perubahan garis pantai tidak hanya ditentukan oleh tren global, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh faktor lokal masing-masing situs.

Implikasi dari penelitian ini menegaskan pentingnya strategi konservasi yang adaptif untuk melindungi situs Warisan Dunia pesisir. Rekomendasi yang diajukan meliputi peningkatan sistem pemantauan garis pantai, penerapan pendekatan berbasis ekosistem untuk memperkuat ketahanan alami pesisir, serta integrasi isu perubahan garis pantai ke dalam rencana pengelolaan Warisan Dunia secara menyeluruh. Untuk *Great Barrier Reef*, strategi khusus yang disarankan mencakup pengelolaan sedimen, restorasi vegetasi, hingga opsi konservasi inovatif seperti migrasi terbantu spesies atau rekayasa habitat buatan. Dengan demikian, literatur ini memberikan dasar ilmiah yang penting dalam memahami ancaman global terhadap situs pesisir sekaligus menawarkan kerangka kerja untuk merancang langkah konservasi yang lebih tepat sasaran di masa depan (Sabour dkk., 2020).

Literatur kesembilan berjudul **“Trends in seabird breeding populations across the Great Barrier Reef” (2021)**. Ditulis oleh **Bradley K. Woodworth, Richard A. Fuller, Graham Hemson, Andrew McDougall, Bradley C. Congdon, & Matthew Low**. Literatur ini membahas analisis jangka panjang mengenai populasi burung laut yang menggunakan *utilize island and cays* di sepanjang *Great Barrier Reef* sebagai habitat penting untuk berkembang biak. Burung laut dianggap sebagai indikator kesehatan ekosistem laut karena berada pada posisi puncak rantai makanan, sehingga perubahan jumlah populasi mereka dapat menggambarkan adanya tekanan lingkungan yang lebih luas. Penelitian ini menggunakan data survei populasi burung laut dari berbagai dekade untuk melihat tren perubahan populasi serta hubungannya dengan perubahan ekosistem laut akibat pemanasan global, degradasi habitat, dan gangguan manusia.

Metode penelitian dilakukan dengan mengompilasi data dari berbagai sumber, termasuk program riset jangka panjang, survei pemerintah, kontribusi kelompok konservasi, hingga catatan sejarah yang tersedia. Data tersebut kemudian melalui proses verifikasi untuk memastikan konsistensi, mengingat adanya perbedaan metode, waktu, serta keterampilan pengamat di lapangan. Analisis juga menggunakan teknik statistik untuk membedakan tren jangka panjang dari fluktuasi jangka pendek yang disebabkan oleh cuaca ekstrem atau gangguan sementara.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar spesies burung laut di Great Barrier Reef mengalami penurunan populasi yang cukup signifikan. Sekitar 75% spesies yang diamati menunjukkan tren menurun, bahkan beberapa spesies seperti *frigatebird* dan jenis tern tertentu mengalami penurunan lebih dari 50% dalam periode pemantauan. Penurunan ini tidak seragam, karena spesies kecil dengan wilayah jelajah sempit cenderung lebih rentan dibandingkan spesies besar yang memiliki kemampuan beradaptasi lebih baik. Selain itu, wilayah utara dan tengah *Great Barrier Reef* memperlihatkan penurunan populasi yang lebih parah dibandingkan wilayah selatan. Faktor utama yang diduga menyebabkan penurunan ini adalah gangguan rantai makanan laut akibat pemutihan karang dan degradasi ekosistem laut. Pemutihan karang berdampak pada berkurangnya ketersediaan mangsa bagi burung laut, sementara kenaikan permukaan air laut, badai, dan erosi pantai memperburuk kondisi habitat darat untuk bersarang. Aktivitas manusia seperti pariwisata, penelitian, dan pembangunan infrastruktur di pulau kecil juga memperbesar risiko kegagalan reproduksi, terutama bagi spesies yang sensitif terhadap gangguan saat musim berkembang biak.

Implikasi konservasi dari temuan ini menekankan perlunya pengelolaan ekosistem yang lebih terintegrasi. Upaya yang bisa dilakukan meliputi perlindungan dan restorasi habitat pulau, pengurangan gangguan manusia, peningkatan kualitas perairan, hingga pengembangan strategi adaptasi terhadap perubahan iklim. Selain itu, penelitian ini menekankan pentingnya program pemantauan jangka panjang dan model prediktif untuk memperkirakan respon populasi burung laut terhadap skenario perubahan iklim di masa depan. Dengan demikian, burung laut dapat dijadikan sebagai indikator penting dalam menjaga kesehatan ekosistem *Great Barrier Reef* secara keseluruhan (Woodworth dkk., 2021).

Literatur kesepuluh berjudul “**Design and implementation of social surveys for Regional Report Cards in the Great Barrier Reef catchment**” (2022). Ditulis oleh **Matt Curnock, Petina Pertama, Dipchana Maharjan, Billie Gordon, Paulina Kaniewska**. Jurnal ini membahas tentang bagaimana persepsi dan keterlibatan masyarakat menjadi hal yang sangat penting dalam menjaga kelestarian *Great Barrier Reef*. Penelitian yang dilakukan oleh CSIRO ini

menekankan bahwa keberhasilan program konservasi tidak hanya bergantung pada kebijakan pemerintah atau hasil penelitian ilmiah, tetapi juga pada sejauh mana masyarakat memahami, peduli, dan ikut berperan dalam menjaga ekosistem laut. Melalui survei sosial yang dilakukan di berbagai wilayah pesisir Queensland, jurnal ini menunjukkan bahwa sebagian besar masyarakat menyadari ancaman serius terhadap terumbu karang, terutama akibat perubahan iklim, pencemaran air, dan aktivitas manusia seperti pertanian, industri, dan pariwisata. Masyarakat menganggap faktor-faktor tersebut sebagai penyebab utama menurunnya kualitas lingkungan laut dan menimbulkan kekhawatiran terhadap masa depan *Great Barrier Reef*.

jurnal ini juga menjelaskan bahwa tingkat kepercayaan masyarakat terhadap lembaga ilmiah dan pemerintah masih menjadi tantangan besar. Banyak responden merasa bahwa meskipun mereka peduli, mereka tidak memiliki cukup informasi atau kesempatan untuk berpartisipasi langsung dalam kegiatan pelestarian. Hal ini menunjukkan pentingnya komunikasi yang lebih terbuka dan strategi partisipatif yang bisa melibatkan masyarakat secara nyata. Peneliti juga menemukan bahwa masyarakat adat memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem karena mereka memiliki hubungan budaya yang erat dengan laut. Oleh karena itu, pengakuan terhadap hak dan pengetahuan tradisional mereka dianggap sangat penting dalam tata kelola lingkungan yang lebih adil dan berkelanjutan.

jurnal ini memperlihatkan bahwa dukungan sosial dan partisipasi publik merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap keberhasilan konservasi *Great Barrier Reef*. Kesadaran masyarakat yang semakin meningkat terhadap ancaman perubahan iklim diikuti dengan keinginan untuk ikut berkontribusi menjadi modal sosial yang berharga. Namun, hal tersebut perlu diimbangi dengan upaya pemerintah dan lembaga ilmiah untuk membangun kepercayaan, memperluas edukasi, dan memastikan proses pengelolaan yang transparan serta inklusif. Melalui hasil penelitiannya, jurnal ini menegaskan bahwa pelestarian terumbu karang bukan hanya tanggung jawab lembaga atau negara, tetapi juga hasil dari kolaborasi semua pihak yang memiliki kepedulian terhadap masa depan lingkungan laut (Curnock dkk., 2022).