



RELOKASI SARANG PENYU DAN KEBERHASILAN PENETASAN: FAKTOR LINGKUNGAN DAN IMPLIKASI KONSERVASI

SEA TURTLE NEST RELOCATION AND HATCHING SUCCESS: ENVIRONMENTAL FACTORS AND CONSERVATION IMPLICATIONS

Haniifah Almas Qurrotu Ainii¹, Rasyanda Khaira Azzahra², Eden Louis Sabrina³,
Intan Astritya Anggraini⁴, Arief Setyanto⁵, Andik Isdianto^{6*}

¹Universitas Brawijaya, Email : haniifahainiiii@student.ub.ac.id

²Universitas Brawijaya, Email : siecalico24@student.ub.ac.id

³Universitas Brawijaya, Email : edenlouiss@student.ub.ac.id

⁴Universitas Brawijaya, Email : intanastritya@student.ub.ac.id

⁵Universitas Brawijaya, Email : asetyanto@ub.ac.id

^{6*}Universitas Brawijaya, Email : andik.isdianto@ub.ac.id

*email koresponden: andik.isdianto@ub.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.62567/ijosse.v2i3.3391>

Abstrack

Sea turtle nesting management increasingly uses active interventions to reduce egg mortality caused by coastal and anthropogenic pressures. However, the effectiveness of managed incubation varies across species, locations, and nesting conditions. This study synthesizes evidence on managed incubation systems, reproductive outcomes, incubation microclimate, hatchling quality, and management responses using a structured integrative literature review with a descriptive-qualitative approach. A Scopus search covering 2011–2026 identified 25 candidate articles, of which 22 were retained for thematic synthesis and selectively complemented through Google Scholar and backward citation searching. The synthesis shows that managed egg transfer does not consistently outperform natural incubation. Natural nests may produce comparable or higher reproductive outcomes when local conditions remain suitable, whereas hatcheries and other managed systems provide greater benefits when nests face high risks from flooding, erosion, predation, human disturbance, or thermal stress. Temperature, shading, nest depth, moisture, oxygen availability, substrate characteristics, and microorganisms further influence embryonic development and hatchling performance. Management effectiveness should therefore be evaluated beyond hatching success alone by considering emergence success, incubation duration, morphology, locomotor performance, physiological condition, and sex ratio where data are available. The findings support a risk-based management framework in which intervention intensity is matched to local threats while maintaining suitable incubation conditions and hatchling quality. Its implementation should be integrated with habitat protection, local management capacity, and community involvement in conservation governance.

Keywords: *Hatchery Management, Incubation Microclimate, Hatchling Quality, Risk-Based Management, Community-Based Conservation.*



Abstrak

Pengelolaan peneluran penyu semakin banyak menggunakan intervensi aktif untuk mengurangi mortalitas telur akibat tekanan pesisir dan antropogenik. Namun, efektivitas sistem inkubasi terkelola berbeda antarspesies, lokasi, dan kondisi habitat peneluran. Kajian ini mensintesis bukti mengenai sistem inkubasi terkelola, hasil reproduksi, iklim mikro inkubasi, kualitas tukik, dan respons pengelolaan menggunakan tinjauan literatur integratif terstruktur dengan pendekatan deskriptif-kualitatif. Penelusuran Scopus periode 2011–2026 menghasilkan 25 artikel kandidat, kemudian 22 artikel dipertahankan untuk sintesis tematik dan diperkaya secara selektif melalui Google Scholar serta penelusuran referensi. Hasil sintesis menunjukkan bahwa pemindahan telur secara terkelola tidak secara konsisten memberikan hasil lebih baik dibandingkan inkubasi alami. Sarang alami dapat menghasilkan keluaran reproduksi yang setara atau lebih tinggi ketika kondisi lokal masih mendukung, sedangkan hatchery dan sistem terkelola lainnya lebih bermanfaat ketika sarang menghadapi risiko tinggi akibat genangan, erosi, predasi, gangguan manusia, atau tekanan termal. Suhu, naungan, kedalaman sarang, kelembapan, ketersediaan oksigen, karakteristik substrat, dan mikroorganisme turut memengaruhi perkembangan embrio dan performa tukik. Efektivitas pengelolaan karena itu perlu dinilai tidak hanya berdasarkan keberhasilan penetasan, tetapi juga keberhasilan kemunculan, lama inkubasi, morfologi, performa lokomotor, kondisi fisiologis, dan rasio jenis kelamin apabila data tersedia. Temuan ini mendukung kerangka pengelolaan berbasis risiko yang menyesuaikan intensitas intervensi dengan ancaman lokal sekaligus mempertahankan kondisi inkubasi dan kualitas tukik. Implementasinya perlu diintegrasikan dengan perlindungan habitat, kapasitas pengelola, dan keterlibatan masyarakat dalam tata kelola konservasi.

Kata Kunci: Pengelolaan *Hatchery*, Iklim Mikro Inkubasi, Kualitas Tukik, Pengelolaan Berbasis Risiko, Konservasi Berbasis Masyarakat.

1. PENDAHULUAN

Penyu merupakan reptil laut yang memiliki siklus hidup kompleks dan bergantung pada habitat pesisir untuk menyelesaikan fase reproduksinya. Induk betina kembali ke pantai untuk menggali sarang dan meletakkan telur, kemudian perkembangan embrio berlangsung di dalam substrat tanpa perawatan langsung dari induk. Kondisi sarang selama masa inkubasi karena itu memiliki peranan penting dalam menentukan keberhasilan perkembangan embrio dan kualitas tukik yang dihasilkan. Kedalaman sarang, jumlah telur, suhu, kelembapan, dan karakteristik lingkungan inkubasi dapat membentuk kondisi mikrohabitat yang berbeda serta memengaruhi perkembangan telur dan performa awal tukik (Isdianto, Luthfi, et al., 2022; Najwa-Sawawi et al., 2021; Matthews et al., 2021). Najwa-Sawawi et al. (2021), misalnya, menunjukkan bahwa kedalaman sarang buatan dalam program relokasi perlu mempertimbangkan jumlah telur agar karakteristiknya lebih mendekati sarang alami.

Keberhasilan reproduksi pada tahap sarang menghadapi berbagai tekanan lingkungan maupun antropogenik. Sarang yang berada pada zona pantai dapat mengalami genangan pasang, erosi, abrasi, predasi, gangguan manusia, maupun kondisi termal yang tidak sesuai bagi perkembangan embrio. Peningkatan temperatur juga menjadi perhatian karena suhu inkubasi memengaruhi mortalitas embrio, karakteristik tukik, dan proses reproduksi penyu. Rutledge et al. (2024) menunjukkan bahwa keberhasilan penetasan menurun pada kondisi temperatur yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi, sedangkan Liles et al. (2019) menunjukkan pentingnya pengelolaan kondisi termal dan relokasi telur sebagai bagian dari respons konservasi terhadap peningkatan suhu. Dengan demikian, pengelolaan sarang merupakan bagian penting dari konservasi penyu pada kawasan peneluran yang menghadapi tekanan lingkungan tinggi.

Salah satu intervensi yang banyak digunakan adalah relokasi sarang, yaitu pemindahan telur atau sarang dari lokasi awal menuju bagian pantai yang dinilai lebih aman, *beach hatchery*, sarang semi-alami, maupun sistem inkubasi *ex situ* lainnya. Tujuan utama intervensi ini adalah mengurangi risiko kehilangan telur ketika lokasi alami menghadapi ancaman yang sulit dikendalikan. Hatchery yang dikelola dengan baik dapat meningkatkan keberhasilan penetasan dan kemunculan tukik ketika sarang



in situ mengalami tekanan predasi atau gangguan fisik (Evans et al., 2022). Demikian pula, Martins et al. (2021) menemukan bahwa hatchery dapat memberikan keuntungan pada kawasan peneluran dengan mortalitas embrio alami yang tinggi. Namun, bentuk inkubasi *ex situ* juga tidak menghasilkan kondisi yang identik; perbandingan antara hatchery pantai dan kotak polistirena menunjukkan perbedaan temperatur, lama inkubasi, keberhasilan penetasan, dan kualitas tukik (Ríos-Huerta et al., 2021).

Relokasi karena itu tidak dapat dipandang sebagai intervensi yang selalu lebih efektif daripada mempertahankan sarang secara *in situ*. Pemantauan jangka panjang di Lamu, Kenya, menunjukkan keberhasilan penetasan sarang *in situ* sebesar 81,0%, sedikit lebih tinggi dibandingkan sarang relokasi sebesar 77,8% (Olendo et al., 2019). Sebaliknya, penelitian pada lokasi lain memperlihatkan bahwa hatchery memberikan keuntungan ketika ancaman terhadap sarang alami cukup tinggi (Martins et al., 2021; Evans et al., 2022). Variasi tersebut menunjukkan bahwa efektivitas relokasi bersifat kontekstual, bergantung pada tingkat ancaman awal, karakteristik lokasi tujuan, teknik pemindahan, dan kualitas pengelolaan. Relokasi dengan demikian lebih tepat ditempatkan sebagai tindakan konservasi berbasis risiko daripada prosedur rutin yang diterapkan pada seluruh sarang.

Evaluasi keberhasilan relokasi juga tidak cukup hanya menggunakan persentase telur yang menetas. Lingkungan inkubasi dapat memengaruhi keberhasilan kemunculan tukik, lama inkubasi, ukuran tubuh, performa lokomotor, kondisi fisiologis, dan karakteristik lain yang berhubungan dengan kualitas tukik. Kelembapan substrat, misalnya, tidak selalu mengubah keberhasilan penetasan tetapi dapat memengaruhi daya tahan berenang tukik setelah menetas (Matthews et al., 2021). Suhu pada berbagai tahap perkembangan juga berkaitan dengan keberhasilan penetasan dan ukuran tukik (Rutledge et al., 2024), sementara perbedaan sistem inkubasi dapat menghasilkan kombinasi hasil yang berbeda antara keberhasilan penetasan dan kualitas tukik (Ríos-Huerta et al., 2021). Bukti terbaru bahkan menunjukkan adanya *trade-off* ketika relokasi dapat meningkatkan aspek tertentu dari hasil inkubasi tetapi disertai perubahan performa awal tukik (Saliba et al., 2026). Oleh karena itu, evaluasi konservasi perlu mempertimbangkan *hatching success* sekaligus *hatchling quality*.

Dalam konteks Indonesia, konservasi penyu telah berkembang dari perlindungan sarang menjadi pengelolaan yang melibatkan aspek habitat, pemeliharaan tukik, pelepasan, kebijakan, pendidikan, dan partisipasi masyarakat. Isdianto, Luthfi, et al. (2022) menempatkan karakter biologi, habitat, dan berbagai bentuk ancaman sebagai dasar pengelolaan penyu, sedangkan Isdianto, Intyas, et al. (2022) menekankan perlunya pengelolaan berkelanjutan pada kawasan konservasi penyu hijau. Praktik di Pantai Sosadale, Rote Ndao, memperlihatkan bahwa kegiatan konservasi mencakup monitoring peneluran hingga penetasan, pemeliharaan tukik, pelepasan, dan *tagging* (Sitorus et al., 2022). Pada dimensi yang lebih luas, konservasi penyu juga membutuhkan dukungan kebijakan dan keterlibatan masyarakat (Isdianto et al., 2023), serta pendekatan yang mampu mempertemukan kebutuhan perlindungan spesies dengan konteks sosial-budaya masyarakat pesisir (Susilo et al., 2024). Dengan demikian, keputusan mengenai relokasi sarang perlu dipahami sebagai bagian dari sistem pengelolaan konservasi, bukan sekadar tindakan teknis terhadap telur.

Meskipun penelitian mengenai relokasi sarang penyu terus berkembang, temuan yang tersedia menunjukkan variasi antarspesies, lokasi, sistem inkubasi, kondisi lingkungan, serta indikator yang digunakan untuk menilai keberhasilan. Sebagian penelitian menitikberatkan perbandingan antara sarang *in situ* dan sarang relokasi, sebagian mengevaluasi variasi sistem hatchery, sedangkan penelitian lain menjelaskan pengaruh suhu, kelembapan, kedalaman, substrat, atau kualitas tukik. Keragaman tersebut menyebabkan efektivitas relokasi tidak dapat ditentukan hanya berdasarkan satu indikator atau satu bentuk intervensi. Dibutuhkan sintesis yang menghubungkan jenis intervensi → kondisi lingkungan inkubasi → keberhasilan penetasan dan kualitas tukik → implikasi pengelolaan, sehingga relokasi dapat ditempatkan sesuai kondisi ancaman dan karakteristik lokasi.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, kajian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi bentuk relokasi dan sistem inkubasi telur penyu; (2) menganalisis variasi keberhasilan penetasan antar-metode pengelolaan; (3) mensintesis pengaruh faktor lingkungan inkubasi serta kaitannya dengan kualitas tukik; dan (4) mengevaluasi manfaat, risiko, serta implikasi relokasi bagi pengelolaan konservasi penyu. Kajian ini tidak dimaksudkan untuk menentukan satu metode relokasi yang berlaku universal, tetapi



untuk menjelaskan kondisi ketika suatu intervensi dapat memberikan manfaat maupun menimbulkan *trade-off* sehingga keputusan pengelolaan dapat disesuaikan dengan tingkat ancaman dan kondisi lokal.

2. METODE PENELITIAN

Desain Kajian

Penelitian ini menggunakan tinjauan literatur integratif terstruktur (*structured integrative literature review*) dengan pendekatan deskriptif-kualitatif untuk mensintesis pengetahuan mengenai relokasi sarang penyu, sistem inkubasi, keberhasilan penetasan, faktor lingkungan inkubasi, kualitas tukik, serta implikasinya bagi pengelolaan konservasi. Pendekatan ini dipilih karena penelitian mengenai relokasi dan inkubasi telur penyu menggunakan desain, spesies, lokasi, bentuk intervensi, kondisi lingkungan, dan indikator keberhasilan yang beragam.

Tinjauan integratif memungkinkan penggabungan bukti empiris dari penelitian komparatif maupun nonkomparatif untuk mengidentifikasi pola, variasi, dan keterkaitan antartemuan tanpa mensyaratkan keseragaman desain atau indikator. Proses kajian dilakukan secara terstruktur melalui penelusuran literatur, pemeriksaan relevansi, ekstraksi informasi, pengorganisasian data, pengelompokan tematik, dan sintesis interpretatif (Torraco, 2005; Whittemore & Knafl, 2005; Snyder, 2019).

Kajian diarahkan pada empat fokus utama, yaitu: (1) bentuk relokasi dan sistem inkubasi telur penyu; (2) variasi keberhasilan penetasan antar-metode pengelolaan; (3) faktor lingkungan inkubasi serta kaitannya dengan kualitas tukik; dan (4) manfaat, risiko, serta implikasi relokasi bagi pengelolaan konservasi penyu.

Strategi Penelusuran Literatur

Scopus digunakan sebagai basis data utama untuk memperoleh literatur *peer-reviewed* yang relevan dengan relokasi sarang, inkubasi telur, dan keberhasilan penetasan penyu. Penelusuran dilakukan pada judul, abstrak, dan kata kunci terhadap artikel yang diterbitkan sejak tahun 2011 sampai 29 Juli 2026. Publikasi tahun 2026 hanya mencakup artikel yang telah tersedia dan terindeks sampai tanggal pencarian terakhir.

Kombinasi pencarian utama yang digunakan adalah: TITLE-ABS-KEY(("sea turtle" OR "marine turtle") AND ("nest relocation" OR "nest translocation" OR "relocated nest" OR hatchery) AND ("hatching success" OR "hatch success")) AND PUBYEAR > 2010 AND PUBYEAR < 2027 AND LIMIT-TO(DOCTYPE, "ar") AND LIMIT-TO(LANGUAGE, "English")

Penelusuran Scopus menghasilkan 25 artikel kandidat yang selanjutnya diperiksa berdasarkan relevansinya terhadap fokus kajian. Untuk memperkuat konteks konseptual dan pengelolaan, terutama berkaitan dengan konservasi penyu di Indonesia, penelusuran utama dilengkapi secara selektif melalui Google Scholar dan penelusuran daftar referensi dari publikasi relevan (*backward citation searching*). ResearchGate digunakan sebagai sarana untuk mengakses publikasi atau naskah lengkap yang relevan apabila tersedia, bukan sebagai basis data utama dalam proses identifikasi literatur.

Sumber tambahan dipertimbangkan apabila memberikan kontribusi substantif terhadap aspek biologi dan habitat penyu, ancaman pada kawasan peneluran, praktik relokasi dan *hatchery*, kebijakan konservasi, keterlibatan masyarakat, atau pengelolaan kawasan konservasi. Literatur tambahan tersebut digunakan untuk memperkuat konteks dan interpretasi pembahasan serta tidak dihitung sebagai bagian dari korpus utama hasil pencarian Scopus.

Kriteria Kelayakan dan Seleksi Literatur

Publikasi dipertahankan dalam sintesis apabila memberikan kontribusi terhadap sedikitnya satu fokus kajian, yaitu: (1) menjelaskan relokasi, translokasi, hatchery, sarang semi-alami, inkubasi *ex situ*, *split-clutch*, atau bentuk inkubasi terkelola lainnya; (2) melaporkan keberhasilan penetasan atau keberhasilan kemunculan tukik pada suatu sistem pengelolaan; (3) menjelaskan pengaruh suhu, kedalaman, kelembapan, oksigen, substrat, mikroorganisme, atau kondisi inkubasi lainnya terhadap perkembangan embrio dan hasil penetasan; (4) mengevaluasi morfologi, performa, kondisi fisiologis, rasio jenis kelamin, atau indikator kualitas tukik; atau (5) memberikan informasi mengenai manfaat, risiko, dan implikasi relokasi terhadap pengelolaan konservasi penyu.



Publikasi tidak dipertahankan apabila membahas organisme selain penyu, hanya menyebut relokasi secara perifer tanpa menyediakan informasi yang relevan dengan tujuan kajian, tidak menyediakan temuan yang dapat diekstraksi, atau merupakan duplikasi. Artikel yang secara khusus membahas faktor lingkungan atau kualitas tukik tetap dapat dipertahankan apabila memberikan dasar empiris untuk menjelaskan variasi keberhasilan antarsistem inkubasi.

Dari 25 artikel kandidat, tiga publikasi dikeluarkan karena membahas kura-kura air tawar, hanya mengevaluasi inkubasi alami tanpa keterkaitan yang memadai dengan fokus kajian, atau hanya merekomendasikan relokasi tanpa melaporkan hasil yang relevan. Dengan demikian, 22 artikel ($n = 22$) dipertahankan sebagai korpus utama untuk sintesis integratif.

Sejalan dengan pendekatan *integrative review*, proses seleksi menekankan relevansi substantif, kontribusi empiris, dan kegunaan publikasi dalam membangun sintesis, bukan pembagian kaku antara artikel inti dan literatur pendukung (Torraco, 2005; Whittemore & Knafl, 2005).

Ekstraksi dan Pengorganisasian Data

Informasi dari publikasi terpilih diekstraksi ke dalam matriks kajian yang mencakup penulis dan tahun publikasi, spesies penyu, lokasi penelitian, desain studi, bentuk pengelolaan atau sistem inkubasi, karakteristik relokasi, keberhasilan penetasan, keberhasilan kemunculan, kondisi lingkungan inkubasi, indikator kualitas tukik, dan temuan utama.

Informasi mengenai suhu, kedalaman sarang, kelembapan, ketersediaan oksigen, karakteristik substrat, mikroorganisme, lama inkubasi, morfologi, performa lokomotor, kondisi fisiologis, dan rasio jenis kelamin diekstraksi apabila tersedia. Karena metode dan indikator yang digunakan antarstudi berbeda, setiap hasil dipertahankan dalam konteks desain, spesies, lokasi, dan kondisi penelitian asalnya.

Kajian ini tidak menerapkan skor kualitas formal karena desain, spesies, lokasi, ukuran sampel, jenis intervensi, dan indikator penelitian bersifat heterogen. Namun, kejelasan metode, karakteristik intervensi, ketersediaan data hasil, dan relevansi terhadap fokus kajian tetap diperhatikan selama proses ekstraksi dan sintesis.

Sintesis Tematik dan Interpretasi Data

Data dianalisis menggunakan sintesis tematik integratif. Informasi dari setiap publikasi terlebih dahulu dikelompokkan berdasarkan kontribusinya terhadap fokus kajian, kemudian dibandingkan antarspesies, lokasi, sistem inkubasi, dan kondisi lingkungan untuk mengidentifikasi pola, variasi, serta faktor yang dapat menjelaskan perbedaan hasil.

Sintesis disusun ke dalam empat tema utama, yaitu: (1) bentuk relokasi dan sistem inkubasi telur penyu; (2) variasi keberhasilan penetasan antar-metode pengelolaan; (3) faktor lingkungan inkubasi dan kualitas tukik; serta (4) manfaat, risiko, dan implikasi relokasi bagi pengelolaan konservasi.

Nilai keberhasilan penetasan menggunakan angka yang dilaporkan dalam masing-masing publikasi. Apabila publikasi hanya menyediakan jumlah telur yang diinkubasi dan jumlah telur yang menetas, persentase keberhasilan penetasan dihitung menggunakan persamaan: $\text{Keberhasilan penetasan (\%)} = (\text{jumlah telur menetas} / \text{jumlah telur yang diinkubasi}) \times 100$.

Meta-analisis tidak dilakukan karena penelitian yang ditelaah memiliki perbedaan spesies, lokasi geografis, ukuran sampel, desain penelitian, metode relokasi, sistem inkubasi, dan kondisi lingkungan. Nilai keberhasilan penetasan karena itu tidak digabungkan atau dirata-ratakan menjadi satu estimasi umum, tetapi dipertahankan dalam konteks masing-masing penelitian. Perbandingan antarstudi digunakan untuk mengidentifikasi pola, variasi, serta kondisi yang berkaitan dengan keberhasilan atau keterbatasan suatu metode pengelolaan. Pendekatan ini konsisten dengan pola sintesis integratif yaitu mempertahankan hasil heterogen dalam konteks asalnya dan menggunakannya untuk mengidentifikasi pola, bukan melakukan agregasi statistik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Literatur dan Pola Umum Pengelolaan Sarang

Penelusuran dan seleksi literatur menghasilkan 22 artikel yang digunakan sebagai korpus utama dalam sintesis integratif. Publikasi tersebut diterbitkan pada periode 2011–2026 dan mencakup lima



spesies penyu, yaitu *Chelonia mydas*, *Eretmochelys imbricata*, *Dermochelys coriacea*, *Caretta caretta*, dan *Lepidochelys olivacea*. Penelitian tersebar pada berbagai kawasan geografis, termasuk Asia, Afrika, Amerika Tengah, Karibia, Timur Tengah, dan wilayah Atlantik. Secara deskriptif, literatur yang ditelaah terdiri atas penelitian yang membandingkan sarang *in situ* dengan sarang relokasi, penelitian yang mengevaluasi sistem inkubasi terkelola, serta penelitian yang menjelaskan pengaruh kondisi lingkungan inkubasi dan kualitas tukik. Pengelompokan tersebut digunakan untuk menggambarkan keragaman fokus penelitian dan tidak dimaksudkan sebagai pemisahan kaku antara artikel inti dan literatur pendukung.

Bentuk pengelolaan sarang yang ditemukan juga menunjukkan tingkat intervensi yang beragam. Relokasi dapat berupa pemindahan telur ke bagian pantai yang lebih aman, *beach hatchery*, sarang semi-alami, wadah inkubasi *ex situ*, ruang inkubasi terkontrol, hatchery dengan naungan, maupun pendekatan *split-clutch*. Sebagian penelitian mempertahankan sarang *in situ* sebagai pembanding, sedangkan penelitian lainnya memusatkan perhatian pada modifikasi kondisi inkubasi seperti kedalaman, suhu, naungan, kelembapan, oksigen, karakteristik substrat, dan mikroorganisme. Variasi tersebut menunjukkan bahwa istilah “relokasi” mencakup spektrum intervensi yang berbeda dan tidak selalu menghasilkan kondisi inkubasi yang setara.

Keragaman sistem pengelolaan tersebut diikuti oleh variasi hasil penelitian. Beberapa studi menunjukkan keberhasilan penetasan yang lebih tinggi pada sarang *in situ*, sedangkan studi lain menunjukkan keuntungan penggunaan hatchery atau relokasi ketika sarang alami menghadapi risiko lingkungan yang tinggi. Pada sistem inkubasi terkelola, hasil juga dipengaruhi oleh kestabilan iklim mikro, kedalaman sarang, penggunaan naungan, dan bentuk inkubasi yang digunakan. Studi yang berfokus pada faktor lingkungan lebih lanjut memperlihatkan bahwa keberhasilan penetasan tidak dapat dipisahkan dari kualitas lingkungan sarang dan kondisi tukik yang dihasilkan.

Dengan demikian, pola umum literatur menunjukkan bahwa relokasi sarang bukan merupakan satu bentuk intervensi yang seragam dan efektivitasnya tidak dapat dinilai hanya berdasarkan status “direlokasi” atau “tidak direlokasi”. Hasil perlu ditafsirkan berdasarkan tingkat ancaman pada sarang awal, bentuk intervensi, kondisi lingkungan lokasi inkubasi, dan indikator keberhasilan yang digunakan. Karakteristik dan kontribusi utama masing-masing penelitian dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Studi Relokasi, Sistem Inkubasi, dan Faktor Lingkungan Sarang Penyu

Penulis dan Tahun	Spesies dan Lokasi	Sistem/Variabel Utama	Kontribusi terhadap Sintesis	Temuan Utama
Najwa-Sawawi et al. (2021)	<i>Chelonia mydas</i> ; Malaysia	Relokasi dan kedalaman sarang	Relokasi dan kondisi sarang buatan	Keberhasilan penetasan relatif setara; kedalaman sarang perlu mempertimbangkan jumlah telur
Martins et al. (2021)	<i>Caretta caretta</i> ; Cabo Verde	<i>Hatchery</i> vs sarang alami	Efektivitas hatchery pada sarang berisiko	<i>Hatchery</i> meningkatkan hasil ketika mortalitas embrio pada sarang alami tinggi
Picknell et al. (2024)	<i>Dermochelys coriacea</i> ; Amerika Serikat	<i>In situ</i> vs relokasi	Perbandingan sistem inkubasi	Keberhasilan penetasan sarang <i>in situ</i> lebih tinggi
Evans et al. (2022)	<i>Eretmochelys imbricata</i> ; Seychelles	<i>Hatchery</i>	Pengurangan gangguan fisik dan biologis	<i>Hatchery</i> mengurangi gangguan dan meningkatkan



Penulis dan Tahun	Spesies dan Lokasi	Sistem/Variabel Utama	Kontribusi terhadap Sintesis	Temuan Utama
				keberhasilan penetasan
Liles et al. (2019)	<i>Eretmochelys imbricata</i> ; El Salvador dan Nikaragua	Relokasi dan <i>hatchery</i> bernaung	Mitigasi kondisi termal tinggi	Naungan menurunkan tekanan termal dan meningkatkan hasil penetasan
Patiño-Martínez et al. (2022)	<i>Caretta caretta</i> ; Cabo Verde	Pengelolaan sarang pada kondisi pantai berbeda	Konteks spasial pengelolaan	Efektivitas pengelolaan bergantung pada karakteristik dan risiko pantai
Kaewmong et al. (2022)	<i>Dermochelys coriacea</i> ; Thailand	Relokasi sarang	Perkembangan embrio	Relokasi menurunkan proporsi telur yang tidak berkembang
Shettigar et al. (2026)	<i>Lepidochelys olivacea</i> ; India	<i>In situ</i> vs relokasi	Perbandingan hasil penetasan	Rata-rata keberhasilan penetasan <i>in situ</i> lebih tinggi
Olendo et al. (2019)	Didominasi <i>Chelonia mydas</i> ; Kenya	<i>In situ</i> vs relokasi	Pemantauan jangka panjang	Keberhasilan penetasan <i>in situ</i> sedikit lebih tinggi dibandingkan relokasi
Saliba et al. (2026)	<i>Eretmochelys imbricata</i> ; Qatar	<i>In situ</i> , relokasi penuh, <i>split-clutch</i>	Perbandingan strategi relokasi	<i>Split-clutch</i> menghasilkan keberhasilan penetasan tertinggi pada penelitian tersebut
Wiggins et al. (2023)	<i>Chelonia mydas</i> ; Ascension Island	Naungan dan suhu	Modifikasi mikroklimat	Naungan meningkatkan keberhasilan penetasan pada kondisi pantai panas
Sieg et al. (2011)	<i>Dermochelys coriacea</i> ; Costa Rica	Translokasi ke <i>hatchery</i>	Suhu dan rasio jenis kelamin	Translokasi mengurangi bias produksi tukik betina tetapi disertai penurunan penetasan
Herawati et al. (2026)	<i>Lepidochelys olivacea</i> ; Indonesia	Sarang semi-alami dan mikroklimat	Stabilitas lingkungan inkubasi	Stabilitas kondisi termal berkaitan dengan



Penulis dan Tahun	Spesies dan Lokasi	Sistem/Variabel Utama	Kontribusi terhadap Sintesis	Temuan Utama
				keberhasilan penetasan
Prastiya et al. (2026)	<i>Lepidochelys olivacea</i> ; Indonesia	Inkubasi buatan terkontrol	Sistem inkubasi terkelola	Inkubasi terkontrol menghasilkan keberhasilan penetasan tinggi
Ríos-Huerta et al. (2021)	<i>Lepidochelys olivacea</i> ; Meksiko	<i>Hatchery</i> pantai vs kotak polistirena	Perbandingan sistem <i>ex situ</i>	<i>Hatchery</i> pantai memberikan hasil lebih baik daripada kotak polistirena
Rivas et al. (2019)	<i>Dermochelys coriacea</i> ; Costa Rica	Naungan dan kedalaman	Interaksi kondisi termal	Pengaruh naungan berkaitan dengan kedalaman sarang
Rutledge et al. (2024)	<i>Lepidochelys olivacea</i> ; Costa Rica	Suhu inkubasi	Toleransi termal embrio	Suhu terlalu rendah maupun terlalu tinggi menurunkan keberhasilan penetasan
Gifari et al. (2018)	<i>Chelonia mydas</i> ; Indonesia	Kedalaman dan kondisi <i>hatchery</i>	Kondisi inkubasi	Kedalaman 80 cm menghasilkan keberhasilan penetasan tertinggi pada studi tersebut
Williamson et al. (2023)	<i>Dermochelys coriacea</i> ; Costa Rica	Oksigen	Pertukaran gas dalam sarang	Hipoksia menurunkan keberhasilan penetasan secara tajam
García-Grajales et al. (2026)	<i>Dermochelys coriacea</i> ; Meksiko	Sedimen dan ukuran kelompok telur	Karakteristik substrat	Ukuran kelompok telur dan kondisi sedimen berkaitan dengan keberhasilan penetasan
Matthews et al. (2021)	<i>Chelonia mydas</i> ; Malaysia	Kelembapan	Penetasan dan kualitas tukik	Kelembapan lebih jelas memengaruhi performa tukik daripada jumlah telur yang menetas
See & Latip (2023)	<i>Eretmochelys imbricata</i> ; Malaysia	Mikroorganisme (<i>Fusarium</i>)	Mikroorganisme dan kegagalan telur	Keberadaan <i>Fusarium</i> tidak selalu diikuti keberhasilan penetasan yang rendah



Sumber: disintesis dari 22 publikasi dalam korpus kajian.

Relokasi Sarang dan Variasi Keberhasilan Penetasan

Hasil sintesis menunjukkan bahwa relokasi sarang tidak secara konsisten menghasilkan keberhasilan penetasan yang lebih tinggi dibandingkan inkubasi *in situ*. Variasi hasil antarpelitian membentuk tiga pola utama, yaitu: sarang *in situ* menghasilkan keberhasilan yang setara atau lebih tinggi daripada sarang relokasi; relokasi memberikan keuntungan ketika sarang alami menghadapi risiko kehilangan yang tinggi; dan hasil penetasan berbeda menurut bentuk serta kondisi sistem inkubasi yang digunakan. Pola ini menunjukkan bahwa efektivitas relokasi lebih tepat dipahami sebagai respons terhadap kondisi lokal daripada sebagai keuntungan intrinsik dari pemindahan telur.

Pola pertama terlihat pada penelitian yang menunjukkan bahwa sarang *in situ* dapat mempertahankan atau menghasilkan keberhasilan penetasan yang lebih tinggi ketika kondisi habitat alami masih mendukung. Pada pemantauan jangka panjang di Lamu, Kenya, keberhasilan penetasan sarang *in situ* mencapai 81,0%, sedangkan sarang relokasi mencapai 77,8% (Olendo et al., 2019). Temuan serupa terlihat pada Picknell et al. (2024), yang melaporkan keberhasilan penetasan lebih tinggi pada sarang *in situ*, serta Shettigar et al. (2026), yang menemukan rata-rata penetasan *in situ* lebih tinggi dibandingkan sarang relokasi. Sementara itu, Najwa-Sawawi et al. (2021) menunjukkan bahwa hasil penetasan antara kondisi alami dan relokasi dapat relatif setara apabila karakteristik sarang buatan disesuaikan dengan kondisi biologis kelompok telur. Pola ini menunjukkan bahwa relokasi tidak memberikan keuntungan tambahan apabila sarang alami relatif aman dan kondisi inkubasinya masih berada dalam kisaran yang sesuai.

Pola kedua menunjukkan kondisi yang berbeda. Relokasi atau penggunaan hatchery dapat meningkatkan peluang keberhasilan ketika sarang alami menghadapi risiko yang tinggi. Martins et al. (2021) menunjukkan manfaat hatchery pada kawasan peneluran dengan mortalitas embrio alami yang tinggi, sedangkan Evans et al. (2022) memperlihatkan bahwa hatchery yang dikelola dengan baik dapat mengurangi gangguan fisik dan biologis serta meningkatkan keberhasilan penetasan. Liles et al. (2019) juga menunjukkan bahwa penggunaan hatchery bernaung dapat memperbaiki hasil pada habitat yang mengalami tekanan termal tinggi. Dengan demikian, keuntungan relokasi terutama muncul ketika risiko kehilangan telur apabila tetap dipertahankan *in situ* lebih besar daripada risiko yang ditimbulkan oleh proses pemindahan dan perubahan kondisi inkubasi.

Temuan tersebut menegaskan bahwa keputusan relokasi sebaiknya mempertimbangkan risiko awal sarang (*baseline nest risk*). Sarang yang menghadapi genangan, abrasi, erosi, predasi, gangguan manusia, atau kondisi termal ekstrem memiliki dasar yang lebih kuat untuk dipindahkan dibandingkan sarang yang berada pada lingkungan relatif stabil. Dengan perspektif ini, keberhasilan relokasi bukan sekadar ditentukan oleh tingginya persentase telur yang menetas setelah dipindahkan, tetapi oleh kemampuan intervensi tersebut untuk mengurangi risiko keseluruhan dibandingkan apabila sarang tetap berada di lokasi awal. Perbedaan karakteristik dan tingkat risiko pantai juga menjelaskan mengapa satu strategi pengelolaan tidak menghasilkan respons yang sama pada seluruh lokasi, sebagaimana ditunjukkan oleh Patiño-Martínez et al. (2022).

Pola ketiga memperlihatkan bahwa jenis sistem inkubasi setelah relokasi turut menentukan hasil. Relokasi tidak menghasilkan satu lingkungan inkubasi yang seragam karena telur dapat dipindahkan ke hatchery pantai, sarang semi-alami, wadah polistirena, ruang inkubasi terkontrol, hatchery bernaung, atau menggunakan pendekatan *split-clutch*. Pada Ríos-Huerta et al. (2021), hatchery pantai memberikan hasil lebih baik dibandingkan inkubasi dalam kotak polistirena. Prastiya et al. (2026) menunjukkan keberhasilan penetasan yang tinggi pada inkubasi buatan terkontrol, sedangkan Herawati et al. (2026) menunjukkan pentingnya kestabilan iklim mikro pada sarang semi-alami. Pada penelitian Saliba et al. (2026), pendekatan *split-clutch* menghasilkan keberhasilan penetasan tertinggi dibandingkan perlakuan relokasi penuh dan *in situ*, meskipun interpretasinya tetap harus mempertimbangkan desain dan ukuran sampel penelitian. Keragaman bentuk intervensi tersebut juga terlihat dalam karakteristik korpus yang mencakup hatchery, *split-clutch*, naungan, inkubasi terkontrol, dan sistem *ex situ* lainnya.

Dengan demikian, perbedaan keberhasilan penetasan tidak dapat dijelaskan hanya oleh tindakan pemindahan telur. Relokasi mengubah sejumlah komponen lingkungan sekaligus, termasuk suhu,



kelembapan, kedalaman, pertukaran gas, karakteristik substrat, tingkat perlindungan terhadap predator, dan intensitas pengawasan. Karena itu, hasil yang lebih tinggi pada suatu hatchery tidak dapat secara otomatis digeneralisasikan bahwa relokasi selalu lebih baik daripada inkubasi alami; sebaliknya, hasil yang lebih tinggi pada sarang *in situ* juga tidak berarti bahwa relokasi tidak diperlukan ketika risiko kehilangan sarang tinggi.

Secara integratif, hubungan antara ancaman sarang, intervensi, dan hasil penetasan dapat diringkas sebagai: tingkat ancaman sarang → keputusan relokasi → kondisi sistem inkubasi → keberhasilan penetasan.

Kerangka ini menunjukkan bahwa manfaat relokasi bersifat kondisional. Pada kondisi risiko rendah, mempertahankan sarang *in situ* dapat menjadi pilihan yang memadai karena meminimalkan manipulasi dan mempertahankan lingkungan inkubasi alami. Sebaliknya, ketika risiko kehilangan sarang meningkat, relokasi dapat menjadi tindakan konservasi yang menguntungkan selama lokasi tujuan mampu menyediakan kondisi inkubasi yang sesuai. Oleh karena itu, pertanyaan pengelolaan yang lebih relevan bukan apakah relokasi “lebih baik” daripada *in situ*, tetapi pada kondisi apa relokasi mampu menurunkan risiko tanpa menimbulkan tekanan inkubasi baru yang lebih besar.

Faktor Lingkungan Inkubasi dan Kualitas Tukik

Keberhasilan inkubasi telur penyu tidak hanya ditentukan oleh keputusan untuk mempertahankan atau merelokasi sarang, tetapi juga oleh kondisi mikrohabitat yang terbentuk selama perkembangan embrio. Hasil sintesis menunjukkan bahwa suhu, naungan, kedalaman sarang, kelembapan, ketersediaan oksigen, karakteristik substrat, dan mikroorganisme dapat bekerja secara individual maupun berinteraksi dalam menentukan hasil inkubasi. Pengaruh faktor-faktor tersebut juga tidak selalu berhenti pada keberhasilan penetasan, tetapi dapat muncul pada lama inkubasi, morfologi, performa lokomotor, kondisi fisiologis, dan rasio jenis kelamin tukik. Oleh karena itu, lingkungan inkubasi menjadi penghubung penting antara bentuk intervensi pengelolaan dan kualitas biologis tukik yang dihasilkan.

Suhu merupakan salah satu faktor yang paling konsisten memengaruhi perkembangan embrio. Rutledge et al. (2024) menunjukkan bahwa keberhasilan penetasan menurun pada suhu inkubasi yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi dan bahwa kisaran toleransi termal dapat berbeda menurut tahap perkembangan embrio. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan suhu dengan keberhasilan penetasan tidak bersifat linear. Intervensi berupa naungan dapat digunakan untuk mengurangi tekanan termal, tetapi manfaatnya sangat bergantung pada kondisi lokal. Wiggins et al. (2023) menemukan bahwa naungan menurunkan suhu inkubasi dan meningkatkan keberhasilan penetasan pada pantai yang lebih panas, sedangkan pada pantai yang lebih sejuk peningkatan keberhasilan penetasan tidak terlihat. Liles et al. (2019) juga menunjukkan bahwa telur yang dipindahkan ke lingkungan *hatchery* yang lebih sejuk menghasilkan keberhasilan penetasan dan kondisi tukik yang lebih baik dibandingkan sarang *in situ* yang lebih panas. Namun, efek naungan tidak dapat dipisahkan dari kedalaman sarang. Rivas et al. (2019) menunjukkan bahwa kombinasi naungan dan kedalaman menghasilkan kondisi termal serta respons tukik yang berbeda. Dengan demikian, naungan sebaiknya diperlakukan sebagai intervensi termal berbasis kondisi lokasi, bukan prosedur standar bagi seluruh *hatchery*.

Kedalaman sarang merupakan komponen lain yang menentukan iklim mikro inkubasi. Penggunaan satu kedalaman baku untuk seluruh sarang relokasi berpotensi mengabaikan variasi ukuran kelompok telur. Najwa-Sawawi et al. (2021) menunjukkan bahwa jumlah telur pada *Chelonia mydas* dapat bervariasi dan mengusulkan penyesuaian kedalaman sarang buatan berdasarkan ukuran kelompok telur agar lebih mendekati karakteristik sarang alami. Temuan tersebut menunjukkan bahwa kedalaman bukan hanya parameter konstruksi *hatchery*, tetapi bagian dari upaya mempertahankan kondisi mikrohabitat yang sesuai setelah telur dipindahkan. Karena itu, standarisasi prosedur relokasi sebaiknya memberikan ruang bagi penyesuaian kedalaman berdasarkan ukuran kelompok telur dan kondisi lokal, bukan menetapkan satu kedalaman yang berlaku universal.

Kelembapan dan ketersediaan oksigen memperlihatkan bahwa keberhasilan penetasan saja belum cukup untuk menilai kualitas lingkungan inkubasi. Matthews et al. (2021) menemukan bahwa kelembapan pasir yang lebih tinggi memperpanjang inkubasi dan menurunkan suhu sarang, tetapi tidak



memberikan pengaruh yang jelas terhadap keberhasilan penetasan. Meskipun demikian, setelah 24 jam aktivitas berenang, tukik dari kondisi kelembapan tinggi menunjukkan kemampuan mempertahankan dorongan renang yang lebih rendah. Dengan kata lain, kondisi inkubasi dapat menghasilkan jumlah tukik yang relatif sama tetapi berbeda dalam performa awalnya.

Pola yang lebih kuat terlihat pada ketersediaan oksigen. Williamson et al. (2023) menunjukkan bahwa kondisi hipoksia yang berkepanjangan meningkatkan kematian embrio dan menurunkan keberhasilan penetasan secara tajam, sedangkan peningkatan konsentrasi oksigen di atas kondisi normal tidak menghasilkan keuntungan yang jelas. Temuan ini menunjukkan bahwa pengelolaan hatchery terutama perlu mencegah kondisi yang membatasi pertukaran gas, bukan mencoba meningkatkan oksigen melampaui kondisi normal. Kondisi fisik sarang seperti kepadatan substrat, kadar air, kedalaman, dan ukuran kelompok telur karena itu perlu dipandang sebagai faktor yang secara bersama-sama dapat memengaruhi lingkungan gas di dalam sarang.

Karakteristik sedimen dan mikroorganisme menunjukkan hubungan yang lebih kompleks dan tidak mendukung interpretasi sebab-akibat yang sederhana. García-Grajales et al. (2026) menemukan perbedaan karakteristik sedimen antarhatchery, tetapi ukuran butir tidak menunjukkan pengaruh langsung yang konsisten terhadap keberhasilan penetasan ketika faktor lain diperhitungkan; ukuran kelompok telur justru memberikan kontribusi penting terhadap variasi hasil. Karakteristik sedimen tetap relevan karena dapat membentuk kondisi suhu, kelembapan, dan durasi inkubasi, sehingga pengaruhnya lebih tepat dipahami melalui interaksi dengan komponen mikrohabitat lainnya.

Demikian pula, keberadaan mikroorganisme tidak selalu dapat diperlakukan sebagai penyebab tunggal kegagalan penetasan. Gifari et al. (2018) menemukan kontaminan bakteri dan fungi pada telur *Chelonia mydas* dan hubungan negatif antara tingkat kontaminasi mikroorganisme dengan hasil penetasan, tetapi penelitian tersebut juga memperlihatkan perbedaan keberhasilan antar-kedalaman sarang. Sementara itu, See dan Latip (2023) menemukan *Fusarium solani Species Complex* pada sebagian besar telur yang gagal menetas, tetapi sarang yang diperiksa secara keseluruhan tetap memiliki rata-rata keberhasilan penetasan yang tinggi. Temuan tersebut menunjukkan bahwa keberadaan mikroorganisme harus ditafsirkan bersama dengan kondisi telur, substrat, kelembapan, kedalaman, dan lingkungan hatchery, bukan digunakan sendiri sebagai indikator penyebab kegagalan.

Implikasi penting dari keseluruhan faktor lingkungan tersebut adalah bahwa hatching success tidak cukup sebagai satu-satunya indikator efektivitas relokasi. Ríos-Huerta et al. (2021), misalnya, menemukan keberhasilan penetasan lebih tinggi pada hatchery pantai dibandingkan kotak polistirena, tetapi tidak menemukan perbedaan signifikan pada parameter kualitas tukik yang diukur. Dengan demikian, peningkatan jumlah telur yang menetas tidak selalu berarti terjadi perubahan yang searah pada seluruh indikator kualitas tukik.

Sebaliknya, Saliba et al. (2026) memberikan contoh *trade-off* yang lebih jelas. Relokasi *ex situ* meningkatkan keberhasilan penetasan dibandingkan sarang *in situ*, tetapi tukik dari relokasi penuh menunjukkan penurunan pada beberapa indikator performa fisik. Pendekatan *split-clutch* menghasilkan keberhasilan penetasan tertinggi sekaligus performa tukik yang lebih mendekati kelompok *in situ*, meskipun jumlah sampelnya masih terbatas. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa keluaran kuantitatif berupa jumlah tukik yang dihasilkan perlu dibaca bersama kualitas biologis tukik.

Indikator lain juga memperlihatkan dimensi yang serupa. Sieg et al. (2011) menunjukkan bahwa translokasi ke hatchery dapat mengurangi bias produksi tukik betina melalui perubahan kondisi termal, tetapi disertai penurunan keberhasilan penetasan. Pada *Lepidochelys olivacea* di Banyuwangi, Prastiya et al. (2026) mendapatkan rata-rata keberhasilan penetasan sebesar 83,7% pada sistem inkubasi terkontrol, tetapi variasi morfometrik dan indikator fisiologis awal tetap ditemukan antarsarang meskipun lingkungan inkubasinya distandardisasi. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi sebelum relokasi dan asal biologis kelompok telur tetap dapat memengaruhi kualitas tukik setelah kondisi inkubasi dikendalikan.

Secara keseluruhan, hasil sintesis mendukung evaluasi keberhasilan konservasi yang lebih multidimensional. *Hatching success* tetap merupakan indikator penting, tetapi perlu dilengkapi dengan *emergence success*, *morphology*, *locomotor performance*, *physiological condition*, dan estimasi *sex*



ratio apabila data memungkinkan. Rangkaian tersebut tidak dimaksudkan sebagai hubungan sebab-akibat yang selalu linear, melainkan sebagai kerangka indikator untuk menilai apakah suatu sistem inkubasi tidak hanya menghasilkan lebih banyak tukik, tetapi juga mempertahankan kualitas biologisnya. Dengan demikian, pengelolaan relokasi perlu diarahkan pada optimasi *reproductive output* sekaligus *hatchling quality*, bukan semata-mata memaksimalkan persentase telur yang menetas.

Implikasi Relokasi bagi Pengelolaan Konservasi

Hasil sintesis menunjukkan bahwa relokasi sarang sebaiknya diposisikan sebagai intervensi konservasi berbasis risiko (*risk-based intervention*), bukan sebagai prosedur rutin yang diterapkan pada seluruh sarang. Dasar utama keputusan bukan sekadar apakah relokasi secara teknis dapat dilakukan, tetapi apakah risiko mempertahankan sarang pada lokasi awal lebih besar dibandingkan risiko yang dapat muncul akibat pemindahan dan perubahan lingkungan inkubasi. Pendekatan ini konsisten dengan temuan bahwa sarang *in situ* dapat menghasilkan keberhasilan penetasan yang setara atau lebih tinggi ketika habitat masih mendukung, sedangkan relokasi atau *hatchery* lebih bermanfaat ketika sarang menghadapi mortalitas embrio, genangan, erosi, predasi, gangguan fisik, atau tekanan termal yang tinggi (Martins et al., 2021; Evans et al., 2022; Patiño-Martínez et al., 2022).

Pada kondisi ancaman rendah, mempertahankan sarang secara *in situ* sebaiknya tetap menjadi pilihan awal karena mampu mempertahankan mikrohabitat alami dan meminimalkan manipulasi telur. Intervensi pada kondisi ini dapat difokuskan pada monitoring terhadap erosi, genangan, predasi, gangguan manusia, dan perubahan suhu. Sebaliknya, ketika ancaman terhadap kelangsungan sarang meningkat dan tidak dapat dikurangi melalui perlindungan langsung di lokasi, relokasi menjadi pilihan yang lebih relevan. Dengan demikian, keputusan relokasi perlu didahului oleh penilaian kondisi sarang dan karakteristik pantai, bukan hanya mengikuti prosedur operasional yang sama pada seluruh lokasi.

Risiko termal memerlukan pertimbangan khusus karena pemindahan sarang tidak selalu menjadi satu-satunya alternatif. Pada pantai dengan suhu inkubasi tinggi, penggunaan naungan dapat menurunkan tekanan termal dan meningkatkan keberhasilan penetasan, tetapi efektivitasnya tergantung pada kondisi suhu lokal dan kedalaman sarang (Liles et al., 2019; Wiggins et al., 2023; Rivas et al., 2019). Rutledge et al. (2024) juga menunjukkan bahwa toleransi terhadap suhu berubah selama perkembangan embrio, sehingga pengelolaan termal perlu mempertimbangkan kondisi sepanjang masa inkubasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa relokasi, naungan, atau kombinasi keduanya perlu dipilih berdasarkan profil risiko termal masing-masing lokasi.

Ketika relokasi dipilih, pengelolaan tidak berhenti pada pemindahan telur. Lokasi tujuan perlu dirancang agar mampu mempertahankan kondisi inkubasi yang sesuai melalui penyesuaian kedalaman, karakteristik substrat, naungan, kelembapan, pertukaran gas, dan perlindungan terhadap gangguan. Najwa-Sawawi et al. (2021) menunjukkan bahwa kedalaman sarang perlu mempertimbangkan ukuran kelompok telur, sedangkan Matthews et al. (2021) dan Williamson et al. (2023) memperlihatkan bahwa kelembapan dan ketersediaan oksigen dapat memengaruhi perkembangan embrio maupun performa awal tukik. Dengan demikian, keberhasilan relokasi sangat bergantung pada kemampuan lokasi tujuan dalam menggantikan fungsi mikrohabitat sarang alami, bukan sekadar pada keberhasilan memindahkan telur.

Evaluasi hasil juga perlu diperluas dari pendekatan yang hanya berorientasi pada *hatching success* menuju evaluasi yang lebih multidimensional. Selain persentase telur yang menetas, indikator seperti *emergence success*, lama inkubasi, morfologi, performa lokomotor, kondisi fisiologis, dan rasio jenis kelamin perlu dipertimbangkan apabila data memungkinkan. Hal ini penting karena sistem inkubasi yang meningkatkan keberhasilan penetasan belum tentu memberikan hasil yang sama pada kualitas tukik. Ríos-Huerta et al. (2021) menunjukkan perbedaan hasil antar-sistem inkubasi, sedangkan Saliba et al. (2026) memperlihatkan adanya *trade-off* antara keberhasilan penetasan dan performa tukik. Hasil sintesis pada bagian sebelumnya juga menegaskan perlunya mengoptimalkan *reproductive output* sekaligus *hatchling quality*.

Dalam konteks pengelolaan konservasi di Indonesia, pendekatan berbasis risiko tersebut perlu ditempatkan dalam sistem pengelolaan yang lebih luas. Konservasi penyu tidak hanya mencakup pemindahan telur dan penetasan, tetapi juga perlindungan habitat, monitoring aktivitas penetasan,



pemeliharaan dan pelepasan tukik, pendidikan, keterlibatan masyarakat, serta kebijakan pengelolaan kawasan (Isdianto, Luthfi, et al., 2022; Isdianto, Intyas, et al., 2022; Sitorus et al., 2022). Isdianto et al. (2023) menekankan pentingnya dukungan kebijakan dan keterlibatan masyarakat dalam konservasi penyu hijau, sedangkan Susilo et al. (2024) menunjukkan bahwa konservasi juga perlu mempertimbangkan konteks sosial-budaya masyarakat. Karena itu, keputusan relokasi tidak sebaiknya diperlakukan sebagai tindakan teknis yang berdiri sendiri, tetapi sebagai bagian dari tata kelola konservasi yang menghubungkan kondisi ekologis, kapasitas pengelola, dan karakteristik sosial lokasi konservasi. Pendekatan ini juga sejalan dengan framing Pendahuluan artikel yang menempatkan konservasi penyu sebagai kombinasi antara habitat, monitoring, kebijakan, pendidikan, dan partisipasi masyarakat.

Berdasarkan sintesis tersebut, kerangka pengambilan keputusan relokasi dapat diringkas sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kerangka Pengambilan Keputusan Relokasi Sarang Penyu Berbasis Risiko

Kondisi Sarang	Risiko Utama	Pilihan Pengelolaan	Parameter Utama yang Dimonitor
Kondisi relatif aman	Risiko kehilangan rendah	Pertahankan <i>in situ</i> dan lakukan monitoring	Suhu, genangan, erosi, predasi, gangguan manusia
Risiko genangan atau erosi tinggi	Kehilangan sarang atau mortalitas embrio	Relokasi ke lokasi yang lebih aman	Elevasi, kelembapan, suhu, kondisi substrat
Kondisi termal ekstrem	<i>Thermal stress</i> dan gangguan perkembangan embrio	Evaluasi relokasi, naungan, atau kombinasi keduanya	Suhu, kedalaman sarang, lama inkubasi
Predasi atau gangguan manusia tinggi	Kehilangan telur dan kerusakan sarang	Perlindungan langsung atau hatchery/relokasi	Keamanan sarang, predasi, mikroklimat
Relokasi telah dilakukan	Risiko manipulasi dan perubahan mikrohabitat	Monitoring intensif pada lokasi tujuan	Kedalaman, suhu, kelembapan, oksigen, substrat
Menjelang dan setelah penetasan	Keberhasilan biologis tidak tergambar oleh satu indikator	Evaluasi multidimensional	<i>Hatching success</i> , <i>emergence success</i> , morfologi, performa, kondisi fisiologis, rasio jenis kelamin

Sumber: disintesis dari Martins et al. (2021), Evans et al. (2022), Liles et al. (2019), Najwa-Sawawi et al. (2021), Matthews et al. (2021), Ríos-Huerta et al. (2021), Rutledge et al. (2024), Wiggins et al. (2023), Williamson et al. (2023), dan Saliba et al. (2026).

Kerangka tersebut tidak dimaksudkan sebagai protokol universal dengan ambang numerik yang sama untuk seluruh pantai. Heterogenitas spesies, karakteristik pantai, ukuran kelompok telur, teknik relokasi, serta kondisi mikroklimat dalam korpus menunjukkan bahwa keputusan pengelolaan tetap memerlukan adaptasi terhadap kondisi lokal. Dengan demikian, fungsi kerangka ini adalah membantu mengarahkan urutan keputusan dari identifikasi ancaman → penentuan kebutuhan intervensi → pengelolaan kondisi inkubasi → evaluasi hasil biologis.

Beberapa kesenjangan penelitian juga perlu diperhatikan. Pertama, desain studi masih heterogen; sebagian membandingkan relokasi dengan sarang *in situ*, sedangkan sebagian lainnya mengevaluasi satu sistem inkubasi tanpa pembandingan langsung. Kedua, indikator keberhasilan belum seragam karena beberapa studi berfokus pada *hatching success*, sedangkan studi lain juga memasukkan *emergence*



success, morfologi, performa, fisiologi, atau rasio jenis kelamin. Keragaman tersebut merupakan salah satu alasan kajian ini tidak menggabungkan hasil menjadi satu estimasi kuantitatif umum.

Ketiga, pada beberapa penelitian jumlah sampel masih terbatas; misalnya interpretasi hasil split-clutch Saliba et al. (2026) masih perlu mempertimbangkan keterbatasan ukuran sampel. Keempat, sebagian besar publikasi dalam korpus lebih banyak mengevaluasi keberhasilan hingga tahap penetasan atau performa awal tukik, sehingga hubungan antara sistem inkubasi dengan kelangsungan hidup setelah pelepasan masih belum banyak terintegrasi dalam evaluasi pengelolaan. Penelitian berikutnya karena itu perlu mengembangkan desain komparatif yang lebih konsisten, definisi indikator yang seragam, monitoring lingkungan yang lebih lengkap, dan apabila memungkinkan pemantauan pascapelepasan untuk menilai konsekuensi jangka lebih panjang dari relokasi.

Secara keseluruhan, hasil kajian menunjukkan bahwa keberhasilan konservasi tidak bergantung pada intensitas intervensi, tetapi pada ketepatan memilih intervensi sesuai tingkat risiko. Relokasi memberikan nilai konservasi ketika mampu mengurangi ancaman yang lebih besar pada sarang alami tanpa menciptakan kondisi inkubasi baru yang merugikan. Oleh karena itu, pengelolaan yang adaptif perlu mempertahankan sarang *in situ* ketika kondisi masih mendukung, menggunakan relokasi secara selektif ketika risiko meningkat, dan mengevaluasi hasil berdasarkan jumlah sekaligus kualitas tukik.

4. KESIMPULAN

Kajian ini menunjukkan bahwa relokasi sarang penyu tidak secara konsisten menghasilkan keberhasilan penetasan yang lebih tinggi dibandingkan inkubasi *in situ*. Sarang *in situ* dapat memberikan hasil yang setara atau lebih baik ketika kondisi habitat masih mendukung, sedangkan relokasi atau penggunaan *hatchery* lebih bermanfaat ketika sarang menghadapi risiko tinggi seperti genangan, erosi, predasi, gangguan manusia, mortalitas embrio, atau tekanan termal. Efektivitas relokasi juga dipengaruhi oleh bentuk sistem inkubasi yang digunakan, sehingga manfaat relokasi bersifat kontekstual dan tidak dapat digeneralisasikan sebagai metode yang selalu lebih baik.

Kondisi lingkungan inkubasi merupakan faktor penting yang menghubungkan tindakan pengelolaan dengan hasil biologis. Suhu, naungan, kedalaman sarang, kelembapan, ketersediaan oksigen, karakteristik substrat, dan mikroorganisme dapat memengaruhi perkembangan embrio, keberhasilan penetasan, maupun kualitas tukik. Oleh karena itu, evaluasi keberhasilan relokasi tidak sebaiknya hanya didasarkan pada *hatching success*, tetapi perlu dilengkapi, apabila data memungkinkan, dengan *emergence success*, lama inkubasi, morfologi, performa lokomotor, kondisi fisiologis, dan rasio jenis kelamin. Dengan pendekatan tersebut, keberhasilan konservasi dapat dinilai berdasarkan jumlah sekaligus kualitas biologis tukik yang dihasilkan.

Berdasarkan sintesis tersebut, relokasi sebaiknya diterapkan sebagai intervensi konservasi berbasis risiko (*risk-based intervention*), bukan sebagai prosedur rutin. Sarang yang relatif aman dapat dipertahankan *in situ* dengan monitoring, sedangkan relokasi dipertimbangkan ketika risiko mempertahankan sarang di lokasi awal lebih besar daripada risiko akibat pemindahan. Jika relokasi dilakukan, lokasi tujuan perlu dikelola berdasarkan kondisi lokal melalui penyesuaian kedalaman, substrat, suhu, naungan, kelembapan, pertukaran gas, dan perlindungan terhadap gangguan. Dalam konteks pengelolaan yang lebih luas, keputusan tersebut perlu diintegrasikan dengan perlindungan habitat, monitoring peneluran, pengelolaan tukik, kebijakan, pendidikan, serta keterlibatan masyarakat. Dengan demikian, pengelolaan konservasi penyu yang adaptif perlu diarahkan pada pemilihan intervensi yang sesuai dengan tingkat ancaman dan kondisi lokal, bukan pada peningkatan intensitas intervensi semata.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Evans, S., Schulze, M. J., Dunlop, S., Dunlop, B., McClelland, J., Hodgkiss, R., & Brown, M. (2022). Investigating the effectiveness of a well-managed hatchery as a tool for hawksbill sea turtle (*Eretmochelys imbricata*) conservation. *Conservation Science and Practice*, 4(11), e12819. <https://doi.org/10.1111/csp2.12819>



- García-Grajales, J., Ramírez-Fuentes, E., & Meraz-Hernando, J. F. (2026). Sedimentary characteristics of *Dermochelys coriacea* nests and their effects on hatching success in the central coast of Oaxaca, Mexico. *Hidrobiológica*, 36(1), 1–10. <https://doi.org/10.24275/ujrd3823>
- Gifari, T., Elfidasari, D., & Sugoro, I. (2018). The effects of contaminant microorganism towards *Chelonia mydas* eggs hatchery results in Pangumbahan Green Sea Turtles Conservation, Sukabumi, Indonesia. *Biodiversitas*, 19(4), 1207–1212. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d190404>
- Herawati, T., Rahayu, I., Maqbul, I., & Saefuramadhan, A. (2026). Hatching success of olive ridley sea turtles in semi-natural nests: A pilot assessment of microclimate conditions at Batu Hiu Beach. *Ecology and Evolution*, 16(2), e73029. <https://doi.org/10.1002/ece3.73029>
- Isdianto, A., Intyas, C. A., Luthfi, O. M., Asadi, M. A., Haykal, M. F., & Putri, B. M. (2022). *Pengelolaan berkelanjutan pada kawasan konservasi penyu hijau*. UB Press.
- Isdianto, A., Luthfi, O. M., Asadi, M. A., Aliviyanti, D., Semedi, B., Afriani, G., Putri, B. M., & Haykal, M. F. (2022). *Penyu: Biologi, habitat & ancaman*. UB Media.
- Isdianto, A., Luthfi, O. M., Haykal, M. F., Putri, B. M., & Fathah, A. L. (2023). Policy and community involvement in green turtle conservation. In *Advances in Academic Research and Development* (Vol. 10, pp. 1–25). Integrated Publications. <https://doi.org/10.22271/int.book.270>
- Kaewmong, P., Punyapornwithaya, V., Wongfu, C., Prasitwiset, W., Jongjit, P., Boonkasemsanti, A., Kittiwattanawong, K., & Bansiddhi, P. (2022). Nest relocation of leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*) decrease the rate of non-developed eggs. *Veterinary Integrative Sciences*, 20(2), 279–289. <https://doi.org/10.12982/VIS.2022.022>
- Liles, M. J., Peterson, T. R., Seminoff, J. A., Gaos, A. R., Altamirano, E., Henríquez, A. V., Gadea, V., Chavarria, S., Urteaga, J., Wallace, B. P., & Peterson, M. J. (2019). Potential limitations of behavioral plasticity and the role of egg relocation in climate change mitigation for a thermally sensitive endangered species. *Ecology and Evolution*, 9(4), 1603–1622. <https://doi.org/10.1002/ece3.4774>
- Martins, S., Ferreira-Veiga, N., Rodrigues, Z., Querido, A., Loureiro, N. de S., Freire, K., Abella, E., Oujo, C., & Marco, A. (2021). Hatchery efficiency as a conservation tool in threatened sea turtle rookeries with high embryonic mortality. *Ocean & Coastal Management*, 212, 105807. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105807>
- Matthews, B. L., Gatto, C. R., & Reina, R. D. (2021). Effects of moisture during incubation on green sea turtle (*Chelonia mydas*) development, morphology and performance. *Endangered Species Research*, 46, 253–268. <https://doi.org/10.3354/esr01159>
- Najwa-Sawawi, S., Azman, N. M., Rusli, M. U., Ahmad, A., Fahmi-Ahmad, M., & Fadzly, N. (2021). How deep is deep enough? Analysis of sea turtle eggs nest relocation procedure at Chagar Hutang Turtle Sanctuary. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(9), 5053–5060. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.05.021>
- Olendo, M. I., Okemwa, G. M., Munga, C. N., Mulupi, L. K., Mwasi, L. D., Mohamed, H. B., Sibanda, M., & Ong'anda, H. O. (2019). The value of long-term, community-based monitoring of marine turtle nesting: A study in the Lamu Archipelago, Kenya. *Oryx*, 53(1), 71–80. <https://doi.org/10.1017/S0030605317000771>
- Patiño-Martínez, J., Dos Passos, L., Afonso, I. O., Teixidor, A., Tiwari, M., Székely, T., & Moreno, R. (2022). Globally important refuge for the loggerhead sea turtle: Maio Island, Cabo Verde. *Oryx*, 56(1), 54–62. <https://doi.org/10.1017/S0030605320001180>
- Picknell, A., Stewart, K. M., Stewart, K. R., & Dennis, M. M. (2024). Assessment of hatching and emergence success, developmental phases, and pathology of leatherback (*Dermochelys coriacea*) embryos and dead-in-nest hatchlings on St. Croix, US Virgin Islands. *Chelonian Conservation and Biology*, 23(1), 103–112. <https://doi.org/10.2744/CCB-1617.1>
- Prastiya, R. A., Susilowati, S., Mustofa, I., Yudhana, A., Taufiqurrahman, R. A., Daffa, M. A., Sasi, S. M., Alghoul, N. M., & Haditanojo, W. (2026). Effects of controlled artificial incubation on hatching success, morphometric traits, and early physiological indicators in olive ridley sea



- turtles (*Lepidochelys olivacea*) from Banyuwangi coast, Indonesia. *Veterinary World*, 19(5), 2105–2116. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2026.2105-2116>
- Ríos-Huerta, D. R., González-Hernández, M., Hart, C. E., Ramírez-Guillén, A., & Santos, K. E. C. (2021). Evaluation of 2 methods of ex situ incubation for sea turtle eggs in terms of nest temperature, hatching success, and hatchling quality. *Ciencias Marinas*, 47(4), 241–254. <https://doi.org/10.7773/cm.v47i4.3225>
- Rivas, M. L., Esteban, N., & Marco, A. (2019). Potential male leatherback hatchlings exhibit higher fitness which might balance sea turtle sex ratios in the face of climate change. *Climatic Change*, 156(1–2), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02462-1>
- Rutledge, M. L., Paladino, F. V., Spotila, J. R., & Santidrián Tomillo, P. (2024). Shifting thermal tolerance windows throughout incubation affects sea turtle hatching success: Implications for hatchery management and conservation. *Marine Biology*, 171, 94. <https://doi.org/10.1007/s00227-024-04417-2>
- Saliba, S., Mohd-Salleh, S., Al-Khayat, J., Marshall, C. D., Smyth, D., & Chatting, M. (2026). Trade-offs of nest relocation in hawksbill turtles: Effects on hatching success and hatchling performance. *Frontiers in Marine Science*, 13, 1757374. <https://doi.org/10.3389/fmars.2026.1757374>
- See, K. W., & Latip, N. S. A. (2023). *Fusarium solani* Species Complex (FSSC) in nests of hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*) with high hatching success in Melaka, Malaysia. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 31(5), 2601–2619. <https://doi.org/10.47836/pjst.31.5.29>
- Shettigar, T., Haragi, S., & Mariyappa, A. (2026). Rediscovering nesting activities of *Lepidochelys olivacea* along the Dakshina Kannada Coast, Karnataka West Coast of India. *Scientific Reports*, 16(1), 907. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-24961-1>
- Sieg, A. E., Binckley, C. A., Wallace, B. P., Santidrián Tomillo, P., Reina, R. D., Paladino, F. V., & Spotila, J. R. (2011). Sex ratios of leatherback turtles: Hatchery translocation decreases metabolic heating and female bias. *Endangered Species Research*, 15(3), 195–204. <https://doi.org/10.3354/esr00372>
- Sitorus, N. C. O., Susan, S., Magdhalena, R. D. D., Sari, W. K., Setyawan, F. O., Isdianto, A., & Aliviyanti, D. (2022). Turtle conservation management at Sosadale Beach, Rote Ndao District, Nusa Tenggara Timur, Indonesia. *Journal of Innovation and Applied Technology*, 8(2), 1480–1490. <https://doi.org/10.21776/ub.jiat.2022.008.02.9>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Susilo, E., Isdianto, A., Parawangsa, I. N. Y., Fathah, A. L., & Putri, B. M. (2024). Balancing tradition and conservation: The use of turtles in Balinese ceremonies and its environmental implications. *International Journal of Environmental Impacts*, 7(2), 233–243. <https://doi.org/10.18280/ijei.070208>
- Torraco, R. J. (2005). Writing integrative literature reviews: Guidelines and examples. *Human Resource Development Review*, 4(3), 356–367. <https://doi.org/10.1177/1534484305278283>
- Whittemore, R., & Knafl, K. (2005). The integrative review: Updated methodology. *Journal of Advanced Nursing*, 52(5), 546–553. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x>
- Wiggins, J., Baum, D., Broderick, A. C., Capel, T., Colman, L. P., Hunt, T., Simmons, D. L., McGurk, J., Mortlock, L., Nightingale, R., Weber, N., & Weber, S. B. (2023). Efficacy of artificial nest shading as a climate change adaptation measure for marine turtles at Ascension Island. *Wildlife Society Bulletin*, 47(4), e1497. <https://doi.org/10.1002/wsb.1497>
- Williamson, S. A., Hoover, A. L., Evans, R. G., Shillinger, G. L., Bailey, H., Bruno, R. S., Bandimere, A., & Reina, R. D. (2023). Effects of postovipositional hypoxia and hyperoxia on leatherback turtle reproductive success and hatchling performance. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*, 339(10), 939–950. <https://doi.org/10.1002/jez.2743>