



# Reproductive Biology of Crabs: *Molecular Mechanisms, Hormonal Regulation, Environmental Factors, And Implications For Sustainable Aquaculture*

*(Biologi Reproduksi Kepiting: Mekanisme Molekuler, Regulasi Hormonal, Faktor Lingkungan, dan Implikasinya bagi Akuakultur Berkelanjutan)*


Dullah Irwan Latar <sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Program Studi Bioteknologi Perikanan Politeknik Perikanan Negeri Tual, Tual, Indonesia.


Email: [irwan.latar@gmail.com](mailto:irwan.latar@gmail.com)

Article Info:

Received : 8 Sept. 2025  
Accepted : 30 Okt. 2025  
Online : 30 Okt. 2025

 Article type:

<input type="checkbox"/>	Riview Article
<input type="checkbox"/>	Common Serv. Article
<input checked="" type="checkbox"/>	Research Article

 Keyword:

*Crabs, Reproduction, Aquaculture Biotechnology, Molecular Mechanisms, Hormonal Regulation, Environmental Factors*

Corresponding Author:

Dullah Irwan Latar  
Politeknik Perikanan Negeri  
Tual, Tual, Indonesia

Email:

[irwan.latar@gmail.com](mailto:irwan.latar@gmail.com)



Copyright©2025, Dullah Irwan Latar

## Abstract

Crab reproductive biology is important for the development of sustainable aquaculture, yet it still faces constraints related to gonadal maturation, spawning, and seed availability. This study employed a Systematic Literature Review (SLR) to synthesize findings on molecular mechanisms, hormonal regulation, and environmental factors influencing crab reproduction, using data from scientific databases spanning 2022 to 2026. The review results indicate that genes and molecular signaling pathways play roles in gonadal development, while crustacean hormones and the neuroendocrine system regulate reproductive readiness. Environmental factors such as temperature, photoperiod, salinity, water quality, and broodstock nutrition also exert significant influence. These findings emphasize the need for a holistic approach to reproductive control. This study highlights the potential of biotechnology to improve hatchery efficiency through the selection of superior broodstock, environmentally friendly hormonal manipulation, and the management of optimal environmental conditions. Nevertheless, research gaps remain, particularly in the application of molecular and hormonal findings at the industrial scale. Overall, these findings provide a foundation for the development of efficient, sustainable, and environmentally friendly crab reproductive technologies, and they may serve as a reference for future aquaculture practices and hatchery strategies.

## I. PENDAHULUAN

Budidaya kepiting telah muncul sebagai salah satu subsektor dengan pertumbuhan tercepat dalam perikanan global akibat meningkatnya permintaan pasar dan tingginya nilai komersial. Spesies yang termasuk dalam kelompok brachyura secara luas diakui sebagai komoditas premium karena kandungan gizinya, cita rasa, serta keuntungan ekonomi yang kompetitif (Kusuma, 2025). Namun, terlepas dari potensi ekonominya yang menjanjikan, industri ini masih menghadapi

kendala mendasar, khususnya terkait keberhasilan reproduksi dan ketersediaan benih berkualitas tinggi. Banyak usaha budidaya masih sangat bergantung pada juvenil hasil tangkapan alam, sehingga menciptakan ketidakstabilan dalam siklus produksi sekaligus memberikan tekanan pada populasi kepiting alami dan ekosistem pesisir (Apine et al., 2023). Komersialisasi kepiting cangkang lunak semakin menegaskan berkembangnya rantai produksi global serta kebutuhan akan manajemen induk yang andal

untuk menjaga keberlanjutan pasokan (Hungria et al., 2017). Kondisi ini menunjukkan bahwa penguatan manajemen reproduksi sangat penting untuk menjamin keberlanjutan budidaya dalam jangka panjang.

Tantangan reproduksi dalam budidaya kepiting bersifat kompleks karena dipengaruhi oleh proses biologis internal maupun kondisi lingkungan eksternal. Pematangan gonad, pemijahan, dan perkembangan larva tidak hanya ditentukan oleh kualitas habitat, tetapi juga diatur oleh mekanisme molekuler dan hormonal yang saling berinteraksi (Tahya et al., 2025). Gangguan pada salah satu komponen tersebut dapat menurunkan efisiensi reproduksi dan secara langsung memengaruhi hasil hatchery. Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif mengenai biologi reproduksi kepiting telah menjadi prasyarat penting dalam pengembangan teknologi akuakultur yang efektif (Hossen et al., 2025). Kemajuan ilmiah menunjukkan bahwa integrasi pengetahuan fisiologis dengan pendekatan berbasis bioteknologi dapat meningkatkan kontrol reproduksi dan hasil produksi. Tanpa integrasi tersebut, sistem akuakultur berisiko tetap tidak efisien dan terlalu bergantung pada rekrutmen alami.

Pada tingkat molekuler, proses reproduksi pada kepiting dikendalikan oleh pola ekspresi gen yang mengatur perkembangan gonad dan pematangan gamet. Gen-gen tertentu yang terkait dengan vitellogenesis dan spermatogenesis telah diidentifikasi sebagai indikator penting kesiapan reproduksi (Zhang et al., 2024). Selain itu, jalur pensinyalan mengoordinasikan respons fisiologis terhadap rangsangan internal maupun lingkungan, sehingga memungkinkan strategi reproduksi yang adaptif (Yulianto et al., 2024). Pendekatan transkriptomik juga mengungkap perubahan bertahap dan spesifik fase dalam aktivitas gen sepanjang siklus reproduksi, sehingga membuka peluang untuk mengembangkan biomarker molekuler dalam pengelolaan induk (Ren et al., 2023). Temuan-temuan ini menunjukkan bahwa wawasan molekuler dapat menjadi landasan ilmiah bagi strategi pemuliaan selektif dan reproduksi presisi. Pada akhirnya, penerapan bioteknologi molekuler berpotensi mentransformasi budidaya kepiting konvensional menjadi sistem produksi yang lebih terprediksi dan terkontrol.

Regulasi hormonal juga memainkan peran sentral dalam menentukan waktu dan keberhasilan reproduksi pada krustasea. Hormon sering kali

bekerja secara sinergis maupun antagonistik untuk mengendalikan pematangan gonad dan siklus pemijahan, yang menegaskan pentingnya keseimbangan endokrin (Ventura, 2025). Interaksi antara hormon, nutrisi, dan variabel lingkungan semakin menunjukkan sifat terintegrasi dari perkembangan ovarium (Dildar et al., 2025). Sistem neuroendokrin bertindak sebagai pengatur utama dengan menerjemahkan sinyal lingkungan menjadi respons fisiologis yang memengaruhi aktivitas reproduksi (Alsehli et al., 2024). Teknik manipulasi hormonal tradisional telah banyak diterapkan untuk merangsang pematangan, namun beberapa praktik invasif menimbulkan kekhawatiran terkait kesejahteraan hewan dan keberlanjutan (Pakaya et al., 2022). Oleh karena itu, penelitian terbaru menekankan metode induksi hormonal yang lebih aman guna meningkatkan produktivitas sekaligus meminimalkan risiko ekologis.

Parameter lingkungan juga sama pentingnya dalam membentuk kinerja reproduksi. Suhu dan fotoperiode terbukti mengatur siklus reproduksi dengan memengaruhi aktivitas metabolik dan hormonal, sehingga fluktuasi kecil sekalipun dapat mengubah jadwal pemijahan (Sujan et al., 2025). Kualitas air dan salinitas sangat krusial karena kondisi yang tidak optimal dapat memicu stres fisiologis, menghambat perkembangan gonad, dan menurunkan kualitas telur (Wang et al., 2025). Komposisi nutrisi juga memengaruhi hasil reproduksi, karena pakan seimbang yang kaya nutrisi esensial mampu meningkatkan cadangan energi dan kualitas gamet (Van Calunod et al., 2025). Selain itu, respons adaptif terhadap stres salinitas menggambarkan bagaimana organisme akuatik menyesuaikan diri secara fisiologis terhadap tekanan lingkungan, sehingga menegaskan pentingnya pengelolaan habitat yang presisi (Dildar et al., 2025). Secara keseluruhan, faktor-faktor ini menegaskan bahwa keberhasilan reproduksi kepiting bergantung pada kondisi budidaya yang dikendalikan secara cermat.

Integrasi pengetahuan molekuler, hormonal, dan lingkungan menawarkan peluang besar untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan akuakultur. Pengelolaan induk berbasis bioteknologi memungkinkan reproduksi yang lebih terkontrol sekaligus mengurangi ketergantungan pada sumber benih alami (Zhu et al., 2025). Optimalisasi kondisi pemijahan dapat meningkatkan kualitas gamet dan menstabilkan produksi larva, yang merupakan elemen penting

bagi sistem hatchery modern yang kompetitif (Hossain et al., 2025). Selain itu, akuakultur berbasis bioteknologi berpotensi mengurangi tekanan terhadap populasi alami serta mendukung konservasi ekosistem pesisir (Dildar et al., 2025). Kompleksitas reproduksi yang berkaitan dengan perubahan iklim juga menegaskan pentingnya strategi pengelolaan inovatif untuk menjaga keberlanjutan perikanan (Mitra et al., 2023). Secara kolektif, perspektif ini menunjukkan bahwa integrasi ilmiah merupakan kunci untuk memajukan budidaya kepiting yang tangguh.

Penelitian sebelumnya telah memberikan kontribusi signifikan dalam memahami reproduksi kepiting dari berbagai perspektif ilmiah. Analisis molekuler telah mengidentifikasi keunggulan genetik yang terkait dengan garis keturunan reproduktif, sehingga memberikan wawasan tentang sifat turunan yang berhubungan dengan kinerja keturunan (Liu et al., 2025). Investigasi fungsional terhadap gen seperti PTSMAD4 telah memperjelas perannya dalam spermatogenesis, sekaligus memperkuat kerangka molekuler biologi reproduksi (Zhang et al., 2024). Penelitian transkriptom komparatif juga mengungkap jalur pensinyalan yang berkaitan dengan metabolisme lipid ovarium selama vitellogenesis, yang menekankan regulasi biokimia dalam proses pemijahan (Ren et al., 2023). Tinjauan mengenai diferensiasi seksual pada krustasea memberikan landasan teoretis yang lebih luas bagi pengendalian reproduksi (Ventura, 2025). Sementara itu, penilaian yang berfokus pada keberlanjutan menyoroti pentingnya pengelolaan sumber daya berbasis konservasi dalam menjaga populasi kepiting (Yulianto et al., 2024). Temuan-temuan kumulatif ini menggambarkan pesatnya perkembangan penelitian interdisipliner di bidang ini.

Meskipun kemajuan yang dicapai cukup signifikan, masih terdapat sejumlah kesenjangan penelitian. Banyak studi masih terbatas pada spesies tertentu dan lingkungan laboratorium yang terkontrol, sehingga sulit untuk menggeneralisasikan temuan ke dalam konteks akuakultur industri yang kompleks. Hambatan teknologi, termasuk biaya tinggi, keterbatasan infrastruktur, serta kebutuhan akan keahlian khusus, masih menghambat penerapan praktis inovasi molekuler dan hormonal (Vijayakumar et al., 2025). Oleh karena itu, menjembatani kesenjangan antara penelitian dasar dan terapan menjadi sangat penting agar penemuan ilmiah

dapat diterjemahkan menjadi manfaat operasional (Higashide et al., 2024). Penelitian di masa depan diharapkan mengintegrasikan pendekatan multi-omics untuk mencapai pemahaman yang komprehensif mengenai mekanisme reproduksi sekaligus memungkinkan seleksi induk dan strategi induksi hormonal yang lebih presisi. Dengan demikian, studi ini bertujuan untuk mensintesis secara sistematis literatur yang ada mengenai mekanisme molekuler, regulasi hormonal, dan faktor lingkungan yang menentukan reproduksi kepiting guna mendukung pengembangan praktik akuakultur yang efisien, bertanggung jawab terhadap lingkungan, dan berkelanjutan.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) untuk mengkaji biologi reproduksi kepiting dalam konteks akuakultur. Metode ini dipilih karena mampu menyintesis dan menganalisis temuan dari berbagai studi ilmiah secara sistematis dan objektif, sehingga menghasilkan gambaran komprehensif mengenai mekanisme molekuler, regulasi hormonal, dan faktor lingkungan yang memengaruhi reproduksi kepiting. Proses review dilakukan berdasarkan protokol standar SLR yang mencakup identifikasi, seleksi, dan sintesis literatur yang relevan.

Sumber literatur diperoleh dari beberapa basis data ilmiah terkemuka, termasuk Scopus, Web of Science, PubMed, dan ScienceDirect, dengan periode publikasi 2000–2025. Kata kunci yang digunakan mencakup kombinasi istilah terkait reproduksi kepiting, mekanisme molekuler, hormon, faktor lingkungan, dan akuakultur, menggunakan operator Boolean untuk memperluas dan memfokuskan pencarian. Setiap artikel yang ditemukan kemudian diseleksi berdasarkan relevansi topik, kriteria inklusi dan eksklusi, kualitas metodologi, serta ketersediaan teks lengkap.

Proses seleksi literatur mengikuti langkah-langkah sistematis yang meliputi screening judul dan abstrak, evaluasi teks lengkap, serta penilaian kualitas studi. Artikel yang memenuhi kriteria kemudian diekstraksi datanya untuk variabel utama, termasuk spesies kepiting, metode penelitian, mekanisme molekuler yang diidentifikasi, hormon yang dipelajari, faktor lingkungan yang dianalisis, dan temuan utama. Data yang dikumpulkan kemudian disintesis

secara naratif dan tematik untuk menyoroti pola, tren, serta hubungan antar variabel dalam konteks reproduksi kepiting.

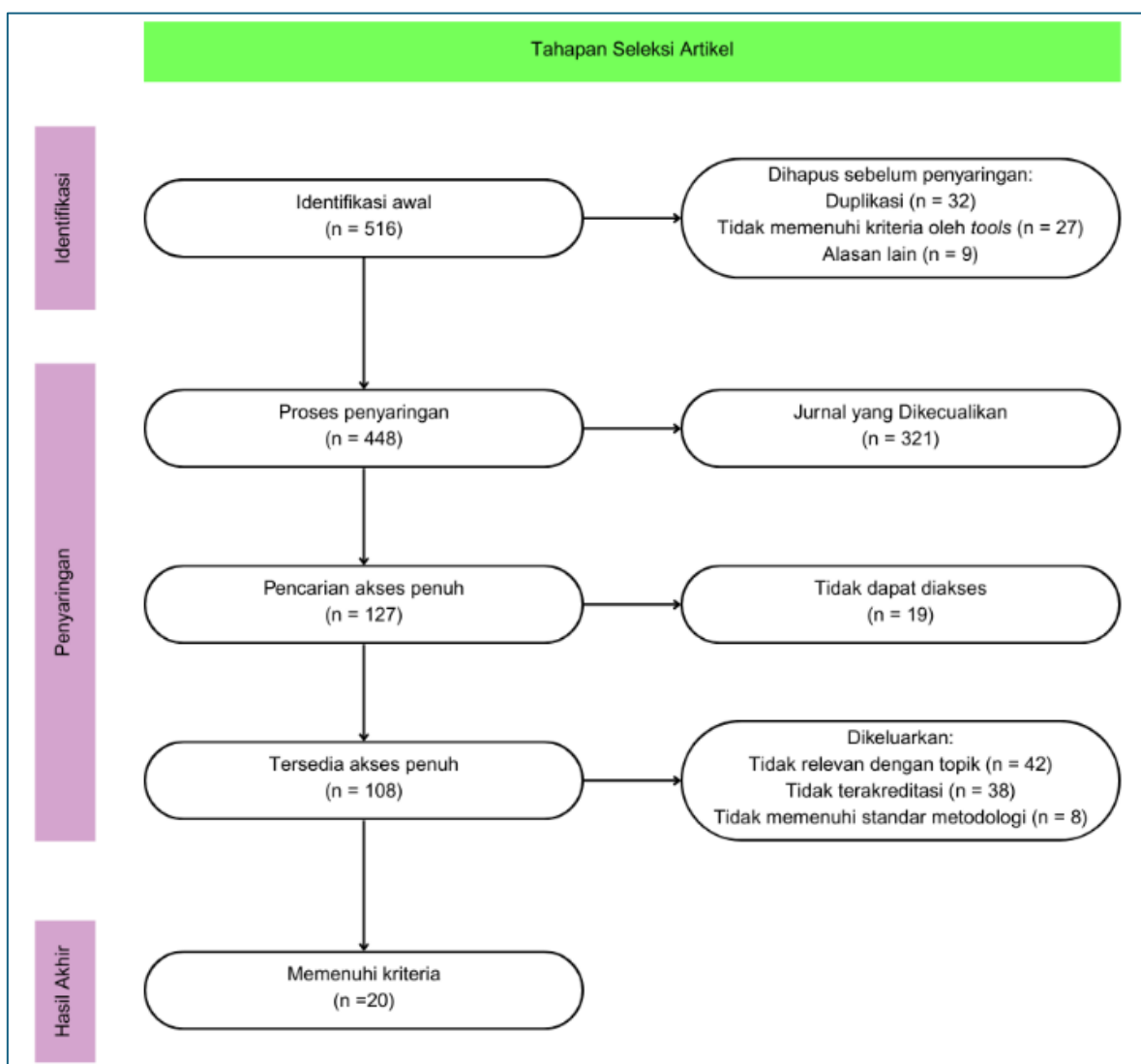
Analisis data dilakukan dengan pendekatan deskriptif dan komparatif, mengintegrasikan temuan dari berbagai studi untuk membangun pemahaman holistik mengenai reproduksi kepiting. Sintesis ini juga digunakan untuk mengidentifikasi kesenjangan penelitian dan peluang pengembangan teknologi akuakultur berbasis bioteknologi. Dengan demikian, metode SLR ini tidak hanya memberikan gambaran komprehensif dari literatur yang ada, tetapi juga mendukung pengambilan keputusan praktis dalam pengelolaan induk dan pengembangan pembenihan kepiting secara berkelanjutan.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebanyak 516 rekaman awal dikumpulkan dari basis data ilmiah bereputasi, yaitu Scopus, IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink, dan

Google Scholar. Pada tahap pra-penyaringan, 68 rekaman dieliminasi, termasuk 32 artikel duplikat, 27 yang tidak memenuhi kriteria awal, dan 9 karena kendala teknis atau kesalahan input. Sebanyak 448 rekaman kemudian dinilai melalui judul dan abstrak, di mana 321 artikel tidak relevan dengan kriteria inklusi, terutama fokus pada digitalisasi UMKM dan penggunaan media sosial dalam pemasaran.

Selanjutnya, 127 artikel ditelusuri dalam bentuk teks lengkap. Namun, 19 artikel tidak dapat diakses akibat kendala teknis atau paywall, sehingga 108 artikel dievaluasi lebih lanjut. Dari jumlah ini, 88 artikel dikeluarkan: 42 tidak sesuai topik penelitian, 38 berasal dari jurnal tidak terindeks atau tanpa peer review, dan 8 tidak memenuhi standar metodologis. Akhirnya, 20 artikel memenuhi seluruh kriteria inklusi dan dianalisis secara komprehensif, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Seleksi Artikel

Dari 20 artikel yang lolos, 10 artikel dipilih untuk disajikan dalam Tabel 1 sebagai representasi temuan paling relevan, sekaligus mencerminkan

keberagaman pendekatan dan fokus kajian terkait digitalisasi UMKM dan penggunaan media sosial sebagai media pemasaran.

Tabel 1. Artikel yang lolos seleksi

No	Penulis & Tahun	Fokus Penelitian	Metode	Temuan Utama / Relevansi
1	Yulianto et al., 2024	Sustainability blue swimming crab ( <i>Portunus pelagicus</i> )	Holistic approach / review	Memberikan dasar konservasi dan manajemen sumber daya untuk kepiting
2	Pakaya et al., 2022	Intensitas & prevalensi ectoparasit pada kepiting bakau ( <i>Scylla serrata</i> )	Observasi lapang	Menunjukkan faktor kesehatan induk yang penting dalam budidaya
3	Liu et al., 2025	Molecular advantages offspring Chinese mitten crab	Analisis molekuler	Menunjukkan faktor genetik dan reproduktif yang berpengaruh pada keturunan
4	Zhang et al., 2024	PTSMAD4 spermatogenesis pada <i>Portunus trituberculatus</i>	Eksperimen molekuler	Mengungkap gen penting dalam spermatogenesis kepiting
5	Ren et al., 2023	MAPK signaling & lipid metabolism ovarium <i>Scylla paramamosain</i>	Comparative transcriptome	Menjelaskan regulasi hormonal dan metabolisme ovarium untuk pemijahan
6	Ventura, 2025	Crustacean sexual differentiation	Review	Memberikan perspektif diferensiasi seksual yang relevan untuk kontrol reproduksi
7	Dildar et al., 2025	Physiology ovarian development crustaceans	Review integratif	Interaksi hormon, nutrien, dan faktor lingkungan mempengaruhi reproduksi
8	Sujan et al., 2025	Climate-smart aquaculture mud crab	Evaluasi ekonomi & praktik budidaya	Relevan untuk penerapan bioteknologi dalam akuakultur berkelanjutan
9	Van Calunod et al., 2025	Enhancing broodstock spawning menggunakan RAS & biofilter	Eksperimen budidaya	Strategi teknis untuk optimasi pemijahan induk kepiting
10	Zhu et al., 2025	Interactions crabs & environment	Review perilaku	Menunjukkan pengaruh lingkungan terhadap reproduksi dan perilaku kepiting

### 3.1. Molecular Mechanisms Regulating Crab Reproduction

Literatur yang dianalisis menunjukkan bahwa mekanisme molekuler memainkan peran fundamental dalam pengaturan reproduksi kepiting (Liu et al., 2025). Ekspresi gen tertentu diketahui berkorelasi erat dengan proses perkembangan gonad dan pematangan sel gamet. Gen-gen yang terlibat dalam vitellogenesis dan spermatogenesis menjadi fokus utama karena berhubungan langsung dengan kesiapan reproduksi induk (Zhang et al., 2024).

Selain ekspresi gen spesifik, berbagai jalur pensinyalan molekuler juga berkontribusi dalam mengoordinasikan proses reproduksi. Jalur ini berfungsi sebagai penghubung antara rangsangan internal dan eksternal, sehingga memungkinkan organisme menyesuaikan aktivitas reproduksi dengan kondisi lingkungan. Temuan ini menegaskan bahwa reproduksi kepiting

merupakan proses yang sangat terintegrasi dan adaptif (Yulianto et al., 2024).

Pendekatan berbasis omics, khususnya transkriptomik, memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai dinamika molekuler selama siklus reproduksi (Ren et al., 2023). Studi-studi tersebut menunjukkan bahwa perubahan ekspresi gen terjadi secara bertahap dan spesifik sesuai fase reproduksi. Informasi ini membuka peluang untuk pengembangan biomarker molekuler yang dapat digunakan dalam manajemen induk.

Dalam konteks akuakultur, pemahaman mekanisme molekuler ini memiliki implikasi strategis. Informasi genetik dapat dimanfaatkan untuk seleksi induk unggul dan pengendalian reproduksi yang lebih presisi (Vieira et al., 2025). Dengan demikian, pendekatan molekuler berpotensi menjadi fondasi bagi penerapan bioteknologi reproduksi kepiting yang berkelanjutan.

### 3.2. Hormonal Regulation and Neuroendocrine Control

Hasil SLR menunjukkan bahwa regulasi hormonal merupakan kunci utama dalam pengendalian reproduksi kepiting (Ventura, 2025). Hormon-hormon krustasea bekerja secara sinergis maupun antagonistik untuk mengatur pematangan gonad dan waktu pemijahan (Dildar et al., 2025). Keseimbangan hormonal ini menentukan keberhasilan proses reproduksi baik di alam maupun dalam sistem budidaya. Sistem neuroendokrin berperan sebagai pengatur utama yang mengintegrasikan informasi dari lingkungan dan respons fisiologis internal (Alsehli et al., 2024). Rangsangan seperti perubahan suhu atau fotoperiode dapat memicu respons hormonal yang berdampak langsung pada aktivitas reproduksi. Hal ini menunjukkan bahwa kontrol reproduksi tidak hanya bersifat endogen, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh faktor eksternal.

Dalam praktik akuakultur, manipulasi hormonal telah lama digunakan untuk mengatasi keterbatasan reproduksi kepiting (Pakaya et al., 2022). Teknik konvensional seperti ablasi tangkai mata terbukti efektif dalam merangsang pematangan gonad, namun menimbulkan isu kesejahteraan hewan dan keberlanjutan. Oleh karena itu, banyak studi terbaru berupaya mencari alternatif berbasis bioteknologi yang lebih ramah. Pembahasan literatur menunjukkan bahwa pemahaman mendalam mengenai mekanisme hormonal dapat mendukung pengembangan metode induksi reproduksi yang lebih aman dan efisien (Yang et al., 2025). Pendekatan ini berpotensi menggantikan metode invasif dan meningkatkan produktivitas akuakultur kepiting secara berkelanjutan.

### 3.3. Environmental Factors Affecting Reproductive Performance

Menurut temuan Sujana et al. (2025), faktor lingkungan merupakan penentu utama keberhasilan reproduksi kepiting dan berperan penting dalam mendukung produktivitas akuakultur. Suhu dan fotoperiode telah terbukti memengaruhi siklus reproduksi melalui pengaturan aktivitas hormonal dan metabolisme, sehingga variasi kecil dalam parameter ini dapat menghasilkan perbedaan signifikan pada tingkat kematangan gonad dan waktu pemijahan. Pemahaman terhadap sensitivitas ini sangat penting untuk merancang kondisi budidaya yang optimal.

Salinitas dan kualitas air juga menjadi faktor kritis yang berdampak langsung pada performa reproduksi. Lingkungan perairan yang tidak optimal dapat menimbulkan stres fisiologis pada induk, mempengaruhi perkembangan gonad, dan menurunkan kualitas telur (Wang et al., 2025). Oleh karena itu, pengelolaan kualitas air secara tepat, termasuk kontrol salinitas, pH, oksigen terlarut, dan parameter kimia lainnya, menjadi aspek esensial dalam sistem budidaya kepiting yang efektif.

Nutrisi induk turut memengaruhi proses reproduksi secara signifikan. Studi literatur menunjukkan bahwa komposisi pakan yang seimbang dan kaya nutrisi esensial dapat meningkatkan cadangan energi induk, memperbaiki kualitas gamet, dan mendukung keberhasilan pemijahan (Van Calunod et al., 2025). Pakan fungsional dengan kandungan protein, lipid, vitamin, dan mineral yang spesifik terbukti meningkatkan viabilitas larva dan kualitas benih yang dihasilkan.

Interaksi antara faktor lingkungan, mekanisme molekuler, dan regulasi hormonal menegaskan bahwa reproduksi kepiting merupakan proses multifaktorial yang kompleks. Pengelolaan lingkungan yang tepat tidak hanya mendukung kesehatan dan kesiapan reproduksi induk, tetapi juga memaksimalkan potensi penerapan bioteknologi reproduksi, seperti manipulasi hormonal dan seleksi induk unggul, sehingga meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan produksi dalam akuakultur kepiting (Mitra et al., 2023).

### 3.4. Implications for Sustainable Crab Aquaculture

Sintesis hasil SLR menunjukkan bahwa integrasi pengetahuan molekuler, hormonal, dan faktor lingkungan memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas akuakultur kepiting (Zhu et al., 2025). Pendekatan bioteknologi memungkinkan pengelolaan induk yang lebih terkontrol dan berbasis ilmiah, sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada benih alam dan meminimalkan risiko terhadap populasi alami. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang mekanisme reproduksi, pengelola hatchery dapat merencanakan strategi reproduksi yang lebih presisi dan konsisten.

Dalam konteks hatchery, pemanfaatan informasi biologis reproduksi dapat membantu optimalisasi kondisi pemijahan, meningkatkan kualitas gamet, dan mendukung produksi larva

yang lebih stabil (Hossain et al., 2025). Implementasi teknologi ini berkontribusi langsung pada peningkatan produktivitas, efisiensi produksi, dan stabilitas pasokan benih, yang menjadi elemen penting dalam pengembangan akuakultur kepiting modern yang kompetitif dan berkelanjutan.

Aspek keberlanjutan menjadi fokus penting dalam literatur yang direview. Akuakultur berbasis bioteknologi tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga berpotensi mengurangi tekanan terhadap populasi kepiting alami dan mendukung konservasi ekosistem pesisir (Dildar et al., 2025). Pendekatan ini sejalan dengan prinsip pengelolaan sumber daya perikanan yang bertanggung jawab dan dapat meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

Secara keseluruhan, hasil dan pembahasan menegaskan bahwa penerapan bioteknologi reproduksi kepiting memberikan manfaat ganda: meningkatkan efisiensi produksi sekaligus mendukung keberlanjutan ekologis. Integrasi pengetahuan ilmiah dengan praktik budidaya yang inovatif menjadi kunci dalam menghadapi tantangan dan mendorong perkembangan akuakultur kepiting di masa depan, baik dari segi ekonomi maupun konservasi sumber daya (Nelwan et al., 2025).

### 3.5. Research Gaps and Future Directions

Meskipun kemajuan signifikan telah dicapai dalam studi biologi reproduksi kepiting, literatur menunjukkan adanya beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Sebagian besar penelitian masih difokuskan pada beberapa spesies unggulan dan dilakukan dalam kondisi laboratorium atau skala eksperimental, sehingga hasilnya belum sepenuhnya dapat digeneralisasi atau diterapkan pada kondisi industri akuakultur yang lebih kompleks. Hal ini menimbulkan kebutuhan untuk memperluas cakupan penelitian agar mencakup berbagai spesies dan kondisi lingkungan yang lebih beragam.

Selain itu, kesenjangan teknologi masih terlihat jelas, terutama dalam penerapan temuan molekuler dan hormonal ke praktik budidaya. Kendala seperti biaya tinggi, keterbatasan infrastruktur, dan kebutuhan sumber daya manusia yang terlatih menjadi hambatan dalam adopsi teknologi canggih (Vijayakumar et al., 2025). Oleh karena itu, penelitian terapan yang menghubungkan ilmu dasar dengan praktik lapangan menjadi sangat penting untuk

memastikan bahwa inovasi bioteknologi dapat diimplementasikan secara efektif dan efisien dalam industri (Higashide et al., 2024). Arah penelitian masa depan diarahkan pada integrasi pendekatan multi-omics, termasuk genomik, transkriptomik, dan proteomik, untuk memahami mekanisme reproduksi kepiting secara menyeluruh.

Pendekatan ini diharapkan tidak hanya dapat mengidentifikasi target molekuler baru yang relevan untuk pengendalian reproduksi, tetapi juga membantu mengembangkan strategi seleksi induk dan induksi hormon yang lebih presisi. Selain itu, penelitian lanjutan diperlukan untuk mengembangkan metode manipulasi hormonal yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan, sehingga mengurangi risiko terhadap kesehatan hewan dan ekosistem perairan. Dengan mengatasi kesenjangan riset dan teknologi, bioteknologi akuakultur kepiting memiliki potensi untuk berkembang lebih cepat, efisien, dan berkelanjutan. Sintesis hasil SLR ini memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi pengembangan penelitian lanjutan, penerapan praktis dalam budidaya, serta pengembangan strategi pembenihan yang dapat meningkatkan produktivitas, kualitas benih, dan keberlanjutan industri kepiting secara keseluruhan.

## IV. PENUTUP

Hasil Systematic Literature Review (SLR) menunjukkan bahwa biologi reproduksi kepiting dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara mekanisme molekuler, regulasi hormonal, dan faktor lingkungan. Ekspresi gen tertentu serta jalur pensinyalan molekuler memainkan peran penting dalam perkembangan gonad dan pematangan sel gamet, sedangkan hormon krustasea dan sistem neuroendokrin mengatur kesiapan reproduksi dan respons terhadap rangsangan lingkungan. Faktor lingkungan seperti suhu, fotoperiode, salinitas, kualitas air, dan nutrisi induk secara signifikan memengaruhi keberhasilan pemijahan dan kualitas larva. Sintesis temuan ini menegaskan bahwa pengendalian reproduksi kepiting dalam akuakultur memerlukan pendekatan holistik yang mengintegrasikan aspek molekuler, hormonal, dan lingkungan.

Kajian ini juga mengungkapkan bahwa pendekatan bioteknologi memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi pembenihan dan pengelolaan induk kepiting. Informasi mengenai mekanisme molekuler dan hormon dapat digunakan untuk seleksi induk unggul, pengaturan

pemijahan, dan pengembangan teknik reproduksi non-invasif yang lebih ramah lingkungan. Selain itu, manajemen lingkungan yang tepat dapat memaksimalkan hasil reproduksi dan mendukung keberlanjutan produksi benih di hatchery. Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan, masih terdapat kesenjangan penelitian yang signifikan, terutama terkait penerapan hasil temuan molekuler dan hormonal dalam skala industri, serta keterbatasan studi pada spesies tertentu.

Kesenjangan ini menunjukkan perlunya penelitian lanjutan yang mengintegrasikan pendekatan multi-omics, teknik hormon presisi, dan evaluasi kondisi lingkungan secara sistematis

untuk mendukung praktik akuakultur yang berkelanjutan. Secara keseluruhan, kajian ini memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk pengembangan teknologi reproduksi kepiting berbasis bioteknologi. Sintesis hasil SLR ini tidak hanya bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, tetapi juga dapat menjadi acuan bagi praktisi akuakultur dalam merancang strategi pembenihan yang efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan, sehingga mendukung konservasi sumber daya perikanan dan keberlanjutan ekosistem pesisir.

## REFERENSI

- Hungria, D. B., dos Santos Tavares, C. P., Pereira, L. Â., et al. (2017). Global status of production and commercialization of soft-shell crabs. *Aquaculture International*, 25, 2213–2226. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0183-5>
- Kusuma, A. (2025). Struktur komunitas kepiting (*Brachyura*) di ekosistem mangrove Desa Sungai Nibung, Kabupaten Tulang Bawang. *Jurnal Akuatiklestari*, 8(2), 185–192. <https://doi.org/10.31629/akuatiklestari.v8i2.7074>
- Apine, E., Ramappa, P., Bhatta, R., Turner, L. M., & Rodwell, L. D. (2023). Challenges and opportunities in achieving sustainable mud crab aquaculture in tropical coastal regions. *Ocean & Coastal Management*, 242, 106711. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106711>
- Tahya, A. M., Ikbal, & Sunarti. (2025). Perkembangan molting kepiting bakau yang dikondisikan dalam siklus gelap-terang pada wadah pemeliharaan resirkulasi tertutup. *JAGO TOLIS: Jurnal Agrokomples Tolis*, 5(2), 159–165. <https://doi.org/10.56630/jago.v5i2.829>
- Hossen, S., Zhang, M., Chao, B., Yuan, Y., Waqas, W., Nag, S. K., Ikhwanuddin, M., & Ma, H. (2025). Reproductive biology of crabs: Molecular and physiological insights and implications for aquaculture. *Reviews in Aquaculture*. <https://doi.org/10.1111/raq.70113>
- Yulianto, H., Ihsan, Y. N., Sumiarsa, D., Ansari, A., & Hendarmawan, H. (2024). Assessing the sustainability of the blue swimming crab (*Portunus pelagicus*) on the Eastern Coast of Lampung: A holistic approach to conservation and resource stewardship. *Frontiers in Marine Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1304838>
- Pakaya, D. A., Koniyo, Y., & Lamadi, A. (2022). Intensitas dan prevalensi ektoparasit pada kepiting bakau (*Scylla serrata*) dalam pengembangan budidaya. *Jurnal Vokasi Sains dan Teknologi*, 2(1), 32–37. <https://doi.org/10.56190/jvst.v2i1.15>
- Liu, R., Lin, X., Hu, J., Yang, J., Li, X., Wang, G., Yang, Y., Chen, Y., Pan, J., Guan, W., Cheng, Y., Zhou, J., & Fujun, X. (2025). Analysis of molecular advantages in offspring of large-sized Chinese mitten crabs based on reproductive lineage. *Aquaculture*, 596(Part 2), 741870. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741870>
- Zhang, Y., Xiang, Q.-M., Mu, C.-K., Wang, C.-L., & Hou, C.-C. (2024). Functional study of PTSMAD4 in the spermatogenesis of the swimming crab *Portunus trituberculatus*. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(23), 13126. <https://doi.org/10.3390/ijms252313126>
- Ren, Y., Wang, W., Fu, Y., Liu, Z., Zhao, M., Xu, L., Zhan, T., Huang, T., Luo, M., Chen, W., Ma, C., Zhang, F., Jiang, K., & Ma, L. (2023). Comparative transcriptome analysis identifies MAPK signaling pathway associated with regulating ovarian lipid metabolism during vitellogenesis in the mud crab, *Scylla paramamosain*. *Fishes*, 8(3), 145. <https://doi.org/10.3390/fishes8030145>

- Vieira, R. A., Nogueira, A. P. O., & Fritsche-Neto, R. (2025). Optimizing the selection of quantitative traits in plant breeding using simulation. *Frontiers in Plant Science*, 16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1495662>
- Ventura, T. (2025). Crustacean sexual differentiation: A decapod perspective. *Current Opinion in Insect Science*, 69, 101371. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2025.101371>
- Dildar, T., Cui, W., & Ma, H. (2025). Physiology of ovarian development in crustaceans: Interactions among hormones, nutrients, and environmental factors from integrated perspectives. *Aquaculture Nutrition*, 2025, 4900891. <https://doi.org/10.1155/anu/4900891>
- Alsehli, A. M., Alawfi, F. H. H., Alahmdi, R. A. R., Alfawzan, R. A., Alanazi, A. F., Alanazi, M. F., Albalawi, F. S. A., Almotairi, S. M., Almutairi, A. A., Alahmadi, B. A., Alzaharani, E. S., Alsobhi, O. A. A., Almadani, S. A., Alsubhi, R. A. (2024, October 26). Investigating neuroendocrine regulation in physiological processes: Advancements in techniques, challenges and future direction for human health.
- Yang, S., Luo, W., Sun, Y., & Wang, S. (2025). Novel perspectives on growth hormone regulation of ovarian function: Mechanisms, formulations, and therapeutic applications. *Frontiers in Endocrinology*, 16. <https://doi.org/10.3389/fendo.2025.1576333>
- Sujan, M. H. K., Sarkar, M. A. R., Sultana, M., Akber, M. A., McKenzie, A. M., Kazal, M. M. H., Islam, I., & Aziz, A. A. (2025). Climate-smart aquaculture practice: Changes in economic viability and efficiency of mud crab fattening in coastal Bangladesh. *Climate Risk Management*, 49, 100726. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2025.100726>
- Wang, Y., Xu, D., Guo, C., Zhang, T., Liu, J., & Li, W. (2025). Gonadal development and its influencing factors in the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*): A review. *Biology*, 14(9), 1138. <https://doi.org/10.3390/biology14091138>
- Van Calunod, C., Maceren-Pates, M., Gaudioso, Jr., P., Nemeño, D., Qunitio, E., Parado-Esteba, F. D., Arcilla, M., & Añasco, L. (2025). Enhancing crab broodstock spawning and water quality using a recirculating aquaculture system with polychaete-assisted sand biofilter. *International Journal of Aquaculture and Biotechnology*, 13(3). <https://doi.org/10.22034/ijab.v13i3.2456>
- Mitra, A., Abdel-Gawad, F. K., Bassem, S., Barua, P., Assisi, L., Parisi, C., Temraz, T., Vangone, R., Kajbaf, K., Kumar, V., & Guerriero, G. (2023). Climate change and reproductive biocomplexity in fishes: Innovative management approaches towards sustainability of fisheries and aquaculture. *Water*, 15(4), 725–750. <https://doi.org/10.3390/w15040725>
- Zhu, B., Liu, D., & Wang, F. (2025). Interactions between crabs and the environment: Progress and prospects from a behavioral perspective. *Reviews in Aquaculture*, 18(1). <https://doi.org/10.1111/raq.70122>
- Hossain, K. Z., Jahan, I., Hossain, M. N., Ferdous, A., Ali, M. R., Rahman, M., Khan, M. S. R., & Asaduzzaman, M. (2025). Feeding selectivity and gametogenic cycle of *Crassostrea madrasensis* in relation to seasonal plankton and environmental variability in the southeast coast of the Bay of Bengal, Bangladesh. *Journal of Sea Research*, 208, 102646. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2025.102646>
- Dildar, T., Cui, W., Ikhwanuddin, M., & Ma, H. (2025). Aquatic organisms in response to salinity stress: Ecological impacts, adaptive mechanisms, and resilience strategies. *Biology*, 14(6), 667. <https://doi.org/10.3390/biology14060667>
- Nelwan, J. I., Timpal, C., Kalangi, J. S., Lumansik, M. E., Suot, R. M., Lumi, S. M., Lumenta, L., & Lalira, J. E. (2025). Enhancing fishermen's economic stability through transformative economic innovation education in the Talaud Islands: Sustainable product and income diversification. *Santhet: Jurnal Sejarah, Pendidikan dan Humaniora*, 9(5). <https://doi.org/10.36526/js.v3i2.6093>
- Higashide, N., Zhang, Y., Asatani, K., Miura, T., & Sakata, I. (2024). Quantifying advances from basic research to applied research in material science. *Technovation*, 135, 103050. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2024.103050>
- Vijayakumar, S., Murugaiyan, V., Ilakkiya, S., et al. (2025). Opportunities, challenges, and interventions for agriculture 4.0 adoption. *Discover Food*, 5, 265. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00576-3>