



Analisis Perbandingan Gametogenesis pada Hewan Vertebrata dan Invertebrata

Nafasya Rahmandini ^{1*}, Na'illah Ega Sivana ²

^{1,2} Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung, Indonesia

Email: rahmandininafasya@gmail.com ^{1*}, naillahegasivana23@gmail.com ²

Abstract, *In mammals, the reproductive process involves fertilization between male and female gametes that produce embryos. Gametogenesis, which includes spermatogenesis and oogenesis, is the stage of formation and maturation of gamete cells through mitosis and meiosis division. The purpose of this study is to understand the differences and similarities in the process of gametogenesis in vertebrate and invertebrate animal groups. This study uses a literature study method in obtaining its data. Although there are variations in structure and mechanism, the process of gametogenesis in vertebrates and invertebrates has similar basic principles. Environmental factors such as temperature also play an important role in influencing spermatogenic activity and reproductive behavior in both groups of animals. The similarities in the basic process indicate that gametogenesis is an evolutionarily conservative mechanism, while specific variations reflect adaptation to the reproductive needs of each species.*

Keywords: *Gametogenesis, Invertebrates, Vertebrates*

Abstrak, Pada mamalia, proses reproduksi melibatkan fertilisasi antara gamet jantan dan betina yang menghasilkan embrio. Gametogenesis, yang meliputi spermatogenesis dan oogenesis, adalah tahap pembentukan dan pematangan sel gamet melalui pembelahan mitosis dan meiosis. Tujuan penelitian ini adalah untuk memahami perbedaan dan persamaan dalam proses gametogenesis pada kelompok hewan vertebrata dan invertebrata. Penelitian ini menggunakan metode studi pustaka dalam memperoleh datanya. Meskipun ada variasi dalam struktur dan mekanisme, proses gametogenesis pada vertebrata dan invertebrata memiliki prinsip dasar yang serupa. Faktor lingkungan seperti suhu juga berperan penting dalam mempengaruhi aktivitas spermatogenik dan perilaku reproduksi pada kedua kelompok hewan ini. Kesamaan dalam proses dasar menunjukkan bahwa gametogenesis adalah mekanisme konservatif secara evolusi, sedangkan variasi spesifik mencerminkan adaptasi terhadap kebutuhan reproduksi masing-masing spesies.

Kata Kunci: Gametogenesis, Invertebrata, Vertebrata

1. PENDAHULUAN

Reproduksi merupakan kemampuan suatu organisme untuk bertahan hidup dan menghasilkan keturunan baru. Semua makhluk melakukan reproduksi untuk mempertahankan diri dan menghasilkan generasi baru. Proses reproduksi sangat penting dalam siklus kehidupan semua organisme, meskipun sistem reproduksi tidak berkontribusi langsung pada keseimbangan dan pertahanan hidup dalam suatu habitat. Proses reproduksi menentukan keberlangsungan siklus keturunan dan pewarisan genetik seseorang kepada keturunannya. Gen pembawa sifat membawa materi genetik yang diturunkan. Reproduksi juga dapat berarti pertukaran atau perpindahan materi genetik ke keturunannya (Hayati, 2019).

Pada dasarnya, perkembangan biakan hewan terutama pada mamalia akan menghasilkan embrio secara perkembangan biakan seksual. Embrio dihasilkan dari proses perkawinan antara jantan dan betina sehingga terjadi fertilisasi. Proses fertilisasi merupakan proses peleburan sel gamet jantan dan sel gamet betina dengan proses pembentukan gamet yang disebut dengan

gametogenesis (Pratiwi dkk, 2019). Gametogenesis adalah tahapan dari pembentukan, pembelahan, serta pematangan sel-sel gamet hingga menjadi sel gamet yang matang dan dapat digunakan dalam proses reproduksi selanjutnya dan melalui pembelahan meiosis. Secara umum gametogenesis dibagi menjadi dua, yakni spermatogenesis dan oogenesis (Sumarmin, 2016).

Tahapan gametogenesis berawal dari sel gamet spermatogonium dari induk jantan yang dikenal dengan sebutan spermatogenesis akan menghasilkan sel spermatozoa (jantan) dan oogenesis atau oogonium terjadi pada induk betina dengan menghasilkan sel telur atau ovum (betina). Proses gametogenesis menghasilkan sel gamet yang bersifat haploid (Romansyah, 2024). Gametogenesis menyebabkan berbagai variasi genetik. Ini karena masing-masing materi genetik separuh berasal dari induk jantan dan separuhnya dari induk betina. Namun, lingkungan memengaruhi materi genetik vertebrata, seperti katak, ikan, dan beberapa hewan melata. Suhu lingkungan adalah faktor lingkungan yang sangat berpengaruh terhadap perkembangan genetik; untuk beberapa hewan kelompok reptil, suhu lingkungan sangat memengaruhi penentuan jenis kelamin individu (Hayati, 2019).

Pada fase spermatogenesis dan oogenesis melakukan dua tahapan pembelahan, yaitu pembelahan mitosis dan meiosis. Pada pembelahan mitosis memiliki tujuan untuk regenerasi sel serta menghasilkan hasil akhir dua sel anakan identic dengan mempunyai jumlah kromosom sama dengan induknya ($2n$). Sedangkan pembelahan meiosis memiliki peranan dalam tahapan pengurangan kromosom yang diawali dari *Primordial Germ Cells* yang menghasilkan empat sel anak dengan jumlah kromosom haploid (n) (Sumarmin, 2016). Pada spermatogenesis, pembelahan mitosis pada spermatogonium akan mengubah menjadi spermatisit primer diikuti dengan adanya pembelahan kromosom serta dilanjutkan dengan pembelahan meiosis sehingga menghasilkan spermatisit sekunder. Sedangkan pada oogenesis, pembelahan mitosis awal terjadi pada oogonia yang diubah menjadi oosit primer serta dilanjutkan dengan pembelahan meiosis hingga pada tahap profase (Pratiwi dkk, 2019). Penelitian ini dilakukan untuk memahami perbedaan dan persamaan dalam proses gametogenesis pada kelompok hewan vertebrata dan invertebrata. Penelitian ini penting karena gametogenesis adalah proses kritis dalam reproduksi, yang mempengaruhi keberlanjutan dan pewarisan genetik. Dengan membandingkan gametogenesis pada vertebrata dan invertebrata, wawasan tentang mekanisme biologis yang mendasari pembentukan gamet dan faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi proses ini dapat diperoleh. Memahami variasi ini dapat memberikan implikasi penting bagi biologi reproduksi, konservasi spesies, dan potensi aplikasi dalam bioteknologi dan kedokteran reproduksi.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi pustaka untuk mengumpulkan dan menganalisis data dari literatur ilmiah yang relevan dengan topik yang diteliti. Pustaka yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari berbagai basis data ilmiah, seperti Google Scholar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gametogenesis pada hewan vertebrata

Umumnya, pada hewan vertebrata proses gametogenesis dibagi menjadi dua, yaitu fase spermatogenesis dan oogenesis. Spermatogenesis merupakan pembentukan sel sperma pada jantan. Proses pembentukan spermatogenesis akan terjadi ketika hewan mengalami dewasa. Spermatogenesis adalah proses diferensiasi sel germinal di testis menjadi spermatozoa matang. Misalnya pada hewan mamalia tikus, proses ini berlangsung di dalam tubulus seminiferus, yang merupakan struktur kompleks dan sangat terorganisir. Tubulus ini mengandung sel germinal pada berbagai tahap perkembangan yang berinteraksi erat dengan sel somatik Sertoli. Struktur ini juga dikelilingi oleh membran basal dan sel mioid, sementara sel Leydig dan pembuluh darah terdapat di interstisium (Nishimura & L'Hernault, 2017).

Spermatogenesis mempunyai tahapan yang panjang, sehingga dibagi menjadi dua yaitu spermatositogenesis yakni proses awal mula dari spermatogenesis yang diawali dengan pembelahan spermatogonium sampai menjadi spermatid. Selanjutnya yaitu tahap kedua adalah spermiogenesis yaitu proses pembentukan spermatid menjadi spermatozoa dewasa. Bentuk spermatid, yang merupakan sel bulat dengan inti di tengah dan organel di sitoplasma, berubah menjadi sel spermatozoa dengan bagian kepala, leher, dan ekor. Perubahan ini terjadi melalui tahapan diferensiasi, yang terdiri dari (1) kondensasi kromatin inti, (2) pembentukan akrosom yang menutupi lebih dari setengah permukaan inti, (3) perubahan pembentukan aparatus golgi menjadi akrosom, dan (4) akrosom kemudian mengalami kondensasi (pemadatan), membentuk kepala sperma (Pratiwi dkk, 2019).



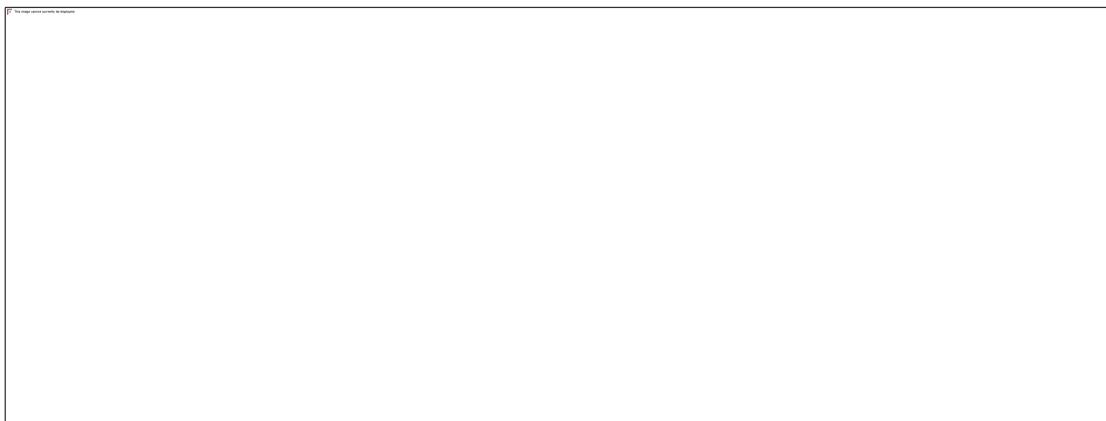
Gambar 1. Spermatogenesis pada sperma tikus (Nishimura & L'Hernault, 2017).

Gambar diatas adalah representasi skematik dari proses spermatogenesis yang terjadi di dalam tubulus seminiferus pada testis. Lapisan struktur dan komponen seluler: Lumen: bagian tengah tubulus seminiferus, di mana spermatozoa (sperma matang) dilepaskan setelah proses spermatogenesis selesai. Sel Sertoli: sel pendukung utama yang melapisi tubulus seminiferus. Mereka menyediakan nutrisi, struktur, dan lingkungan yang diperlukan untuk perkembangan sperma. Sel Sertoli membentuk berbagai sambungan (junctions) untuk mendukung spermatogenesis. Beberapa contoh sambungan ini adalah apical ES (ectoplasmic specialization): sambungan di bagian apikal membantu perkembangan spermatid menjadi spermatozoa. Basal ES: sambungan di bagian basal membentuk Penghalang Darah-Testis (BTB). Proses spermatogenesis: Spermatogonia adalah sel germinal awal yang berada di dekat membran basal. Tipe A adalah sel induk yang membelah untuk memperbanyak diri, dan Tipe B adalah sel yang berdiferensiasi menjadi spermatosit primer. Spermatosit Primer adalah sel yang masuk ke meiosis pertama. Spermatosit Sekunder adalah sel yang masuk ke meiosis kedua dan kemudian membentuk spermatid. Spermatid Bulat, juga dikenal sebagai Spermatid Bulat: Ini adalah hasil dari meiosis kedua, yang mengalami spermiogenesis, yang menghasilkan spermatid memanjang, atau spermatid memanjang, yang berkembang menjadi spermatozoa. Spermatozoa adalah bentuk sperma yang matang yang dilepaskan ke dalam tubuh. Kemudian struktur pendukung: Benteng Darah-Testis (BTB): terdiri dari sambungan ketat antara sel Sertoli, melindungi sperma dari reaksi imun tubuh. Basal Lamina (BM): lapisan dasar yang memisahkan sel Sertoli dan spermatogonia dari jaringan di luar tubulus. Sel Leydig:

terletak di luar tubulus seminiferus, menghasilkan testosteron untuk mendukung spermatogenesis. Sel Myoid: sel otot polos yang membantu kontraksi tubulus untuk mendorong spermatogenesis. Terdapat sambungan antara sel: Sambungan ketat terdiri dari sambungan erat yang terbentuk antara sel Sertoli yang membentuk BTB. Sambungan adhesi dan celah terdiri dari komunikasi antar sel yang membantu koordinasi spermatogenesis. Sambungan seperti desmosom memberikan dukungan mekanis pada sel germinal. Droplet Sitoplasmik: Sisa sitoplasma yang secara bertahap dilepaskan dari sperma yang hampir matang dikenal sebagai droplet sitoplasmik (Nishimura & L'Hernault, 2017).

Kista germline terutama terdiri dari oogonia, yang merupakan sel aktif secara mitosis yang berasal dari sel punca germline (GSC) yang pada akhirnya menghasilkan oosit. GSC telah diidentifikasi pada spesies seperti Medaka dan ikan zebra, di mana mereka berada di daerah tertentu dari ovarium. Sel punca ini ditandai oleh gen *nanos2*, dan hilangnya sel punca ini pada ikan zebra terkait dengan penipisan oosit dan kemandulan. Oogonia mengalami beberapa putaran mitosis pada spesies seperti tikus, katak, dan ikan zebra, membentuk kista germline yang mana sel-sel tetap terhubung melalui jembatan sitoplasma (CB). Kista-kista ini, yang dienkapsulasi oleh sel folikel somatik, menampilkan organisasi oogonia dan oosit yang terkonservasi di seluruh spesies (Ramírez-Pinilla dkk., 2015).

Pada *Drosophila*, kista biasanya mengandung 16 sel setelah mitosis, dengan satu sel berdiferensiasi menjadi oosit dan sisanya menjadi sel perawat. Proses ini difasilitasi oleh struktur khusus yang disebut fusom. Meskipun vertebrata tidak membentuk fusom, kista yang mereka bentuk dapat berisi hingga 30 sel atau lebih. Protein *Tex14* memainkan peran penting dalam perakitan CB, meskipun ketidakhadirannya tidak mencegah oogenesis pada tikus, menunjukkan bahwa CB tidak penting untuk perkembangan oosit. Selain itu, oosit pada mamalia mengalami apoptosis dan pembentukan folikel, dengan sebagian besar dihilangkan oleh apoptosis selama folikulogenesis (Elkouby & Mullins, 2017).



Gambar 2. Awal oogenesis pada vertebrata

Sel-sel oogonial berkembang menjadi oosit tahap meiosis I awal di dalam kista atau sarang nutfah, sel oogonial dikelilingi oleh sel-sel folikel, meskipun belum jelas apakah mereka terhubung oleh jembatan sitoplasma (CB). Oosit-ovum ini, termasuk oosit meiosis leptoten dan zigoten, mengelompok bersama dan difagia oleh sel folikel somatik. CB terurai melalui sitokinesis dan oosit individu dikelilingi oleh sel folikel dalam proses yang disebut folikulogenesis. Pada spesies seperti tikus, dan ikan zebra, folikulogenesis biasanya dimulai setelah tahap zigot. Analisis mutan pada tikus telah mengidentifikasi faktor-faktor penting, seperti *Nobox* dan *Foxl2*, yang mengatur transisi dari kista ke folikel. Pengamatan terbaru menunjukkan bahwa motilitas, sitokinesis, dan kemungkinan apoptosis terlibat dalam pemisahan oosit dari kista, dengan peran yang berbeda-beda tergantung pada spesies dan tahap perkembangan. Meiosis I ditandai dengan rekombinasi homolog antar kromosom, yang sangat penting untuk menghasilkan keragaman genetik pada gamet. Proses ini melibatkan pasangan kromosom melalui kompleks sinaptonemal, yang terjadi selama tahap awal profase I, khususnya pada leptotene dan zigotene. Pasangan kromosom difasilitasi oleh struktur yang dikenal sebagai buket kromosom, di mana telomer mengelompok di salah satu kutub selubung nuklir (NE), dan kromosom berputar di sekitarnya untuk memungkinkan pencarian pasangan homolog. Rotasi ini berhenti ketika buket menjadi stabil, memperkuat pasangan kromosom homolog dan sinapsis. Penelitian terbaru mengungkapkan bahwa pembentukan buket diatur oleh perlekatan telomer pada protein selubung nuklir bagian dalam SUN1, yang difasilitasi oleh protein seperti RingoA dan Cdk2, yang mengatur fosforilasi SUN1 dan lokalisasi telomer. Mekanisme buket dilestarikan di seluruh spesies, tetapi terdapat variasi, seperti pada *Drosophila* dan *C. elegans*, di mana sentromer atau pusat pemasangan menggantikan telomer dalam pemasangan kromosom. Pergerakan kromosom di dalam buket dimediasi oleh interaksi antara kompleks SUN/KASH dan mikrotubulus, dengan protein motor dynein yang memainkan peran penting. Pada mamalia, termasuk tikus dan ikan zebra, pembentukan buket sangat penting tidak hanya untuk pasangan kromosom tetapi juga untuk proses perkembangan lainnya, seperti pembentukan gelendong dan pemutusan simetri pada oosit (Ramírez-Pinilla dkk., 2015).

Gametogenesis pada hewan invertebrate

Spermatogenesis pada invertebrata melibatkan pembentukan dua jenis spermatozoa yang berbeda, satu dibentuk melalui spermatogenesis yang khas dan yang lainnya di dalam kista berinti banyak. Spermatozoa ini berbeda dalam hal panjang kepala tetapi memiliki karakteristik yang sama seperti adanya akrosom, jumlah mitokondria, dan susunan sentriol. Mitokondria pada spermatozoa atipikal mengandung mtDNA tipe jantan (tipe-M), sedangkan spermatozoa

tipikal mengandung mtDNA tipe betina (tipe-F). Kehadiran dua jenis mtDNA merupakan karakteristik kerang dengan warisan uniparental ganda (DUI), sistem reproduksi yang ditemukan pada spesies kerang tertentu. Pada spesies ini, betina memiliki homoplasma untuk mtDNA tipe-F, sedangkan jantan memiliki heteroplasma untuk tipe-F dan tipe-M (Wuerz dkk., 2017).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa spermatogenesis atipikal mungkin melibatkan pembelahan nukleus asinkron dalam kista berinti banyak, dengan kemungkinan pembelahan reduksi yang terjadi selama meiosis. Kedua jenis spermatozoa diproduksi di dalam folikel rep. Faktor lingkungan, seperti suhu, dapat mempengaruhi aktivitas spermatogenik dan perilaku reproduksi kerang ini, dengan jantan memproduksi sperma secara terus menerus dan menyinkronkan spermatogenesis mereka dengan betina. Prevalensi spermatozoa yang khas, yang terkait dengan mtDNA yang bias betina, dapat berkontribusi pada rasio jenis kelamin yang bias betina dalam populasi. Selain itu, spermatozoa atipikal, yang mengandung DNA, kemungkinan berperan dalam pembuahan (Wuerz et al., 2017).

Organisme diploblastik yang merupakan basal dari semua Metazoa lainnya tidak memiliki ovarium yang jelas (lihat Tinjauan Filogenetik) tetapi masih berhasil menghasilkan telur yang layak. Oleh karena itu, ovarium yang terpisah dan terdefinisi dengan baik bukanlah prasyarat untuk produksi telur. Ovarium mungkin tidak berevolusi pada Placozoa karena mereka hanya memiliki empat tipe sel somatik yang dijelaskan dan menghasilkan sangat sedikit telur. Pada anggota Porifera, oosit tersebar secara acak di seluruh mesohyl dan memenuhi kebutuhan nutrisi dengan menggunakan fagositosis (suatu bentuk heterosintesis) untuk mengonsumsi sel lain sebagai sarana utama untuk menyelesaikan sintesis kuning telur. Beberapa spesies memiliki oosit soliter yang dikelilingi oleh sel folikel (folikel) yang dapat memberikan dukungan nutrisi dan/atau memediasi perjalanan selektif nutrisi atau metabolit lain ke dalam oosit (Eckelbarger & Hodgson, 2021).

Pada Cnidaria, oosit menyelesaikan vitellogenesis dalam mesogloea pada Anthozoa dan Scyphozoa diikuti dengan berasosiasi dengan sel pendukung yang berasal dari gastrodermal (somatik) yang disebut trofosit atau trofonemata. Staurozoa memiliki struktur yang paling kompleks secara morfologis, seperti ovarium di Cnidaria, dengan sel gastrodermal dan folikel yang membungkus oosit. Banyak cnidaria menggunakan mesogloea sebagai media untuk transportasi nutrisi dari rongga gastrovaskuler ke oosit, dan pada beberapa skleractinia, sel gastrodermal sendiri telah terlibat dalam sintesis prekursor kuning telur. Sel-sel gastrodermal yang dimodifikasi atau disebut trofosit telah terlibat dalam dukungan nutrisi pada scyphozoa sasmaeostome dan rhizostome, dan sel-sel gastrodermal yang secara kolektif disebut

trofonemata diduga memiliki peran trofik tidak langsung pada beberapa anthozoa (Actiniaria). Pada Pennatulacea (Anthozoa, pena laut) dan Staurozoa, sel folikel kemungkinan terlibat dalam dukungan metabolisme atau mediasi selama oogenesis, sementara beberapa hidrozoa bergantung pada oosit yang gagal (sel perawat) selama vitellogenesis. Semua ctenofor tampak bergantung pada sel perawat selama oogenesis, meskipun nutrisi juga dapat diperoleh melalui sel nutrisi yang terkait erat dengan gastrodermis (Eckelbarger & Hodgson, 2021).

Selain usus dan kompartemen jaringan ikat, bilateria bertubuh besar berevolusi dengan kompartemen internal ketiga yang unik yang disebut coelom yang memungkinkan ukuran dan kompleksitas yang lebih besar. Ukuran tubuh yang lebih besar mungkin menghasilkan tekanan seleksi yang lebih besar untuk menghasilkan lebih banyak dan lebih besar telur, yang mungkin menyebabkan munculnya ovarium diskrit (organ sejati) yang tidak teramati pada filum diploblastik. Pada sebagian besar triploblastik, oosit dan ovarium berasal dari mesoderm, dan ovarium diamati dalam tujuh konfigurasi umum tergantung pada desain tubuh umum dan ukuran orang dewasa (Jędrzejowska, 2019).

- 1) Pada banyak bilateria bertubuh kecil (Acoela, Nemertodermata, Xenoturbellida, Cycliophora, Micrognathozoa, Gastrotricha), ovarium tidak ada. Sebagai gantinya, agregasi oosit yang longgar berkembang di antara sel-sel somatik di sekitarnya, dan mungkin karena ukuran tubuhnya yang kecil, difusi nutrisi ke oosit dari usus atau jaringan lain cukup untuk mendukung vitellogenesis.
- 2) Pada banyak hewan acoelomata seperti beberapa makroturbellaria, ovarium saccate hadir yang berada di kompartemen jaringan ikat (parenkim), yang melaluinya nutrisi dapat menuju ke oosit.

Pada bilateria yang tersisa, ovarium dapat dikaitkan dengan:

- 3) Rongga koelom,
- 4) Haemocoels,
- 5) Sistem hemal (darah),
- 6) Sistem koelomik dan hemal yang terjadi bersamaan, dan
- 7) Sistem pencernaan (Eckelbarger & Hodgson, 2021).

Ovarium dan Rongga Coelom, Coelom adalah rongga berisi cairan yang dilapisi dengan mesothelium turunan mesoderm yang unik pada Bilateria dan memiliki beberapa fungsi yang diusulkan pada hewan bertubuh besar, termasuk peran dalam reproduksi. Pada Annelida, coelom memainkan peran utama dalam oogenesis pada polychaetes, sipunculans, dan echiura, di mana oosit mengalami vitellogenesis saat mengambang bebas di dalam cairan coelom. Coelom dapat berfungsi sebagai sistem transportasi internal dan tempat penyimpanan

prekursor kuning telur serta sebagai ruang di mana telur menjalani vitellogenesis sebelum dilepaskan ke luar saat pemijahan. Banyak oosit polychaete dilepaskan dari ovarium retroperitoneal ke dalam rongga perut yang luas tempat terjadinya vitellogenesis. Dalam kebanyakan kasus, oosit berkembang secara soliter (tanpa hubungan dengan sel aksesori), sehingga diasumsikan bahwa vitellogenesis didukung oleh prekursor kuning telur yang terkandung di dalam cairan koelom. Beberapa polychaetes terebellid juga memiliki amoebosit yang melimpah yang tampaknya terlibat dalam sintesis dan penyimpanan prekursor berdasarkan bukti ultrastruktural. Spesies Echiuran dan sipunculan juga memiliki rongga koelom yang luas di mana oositnya mengalami vitellogenesis, sehingga prekursor kuning telur harus dimasukkan dari cairan koelom (Jędrzejowska, 2019).

Sumber prekursor kuning telur pada sebagian besar annelida clitellata (Oligochaeta, Hirudinea) belum diidentifikasi karena mereka tidak memiliki rongga koelom yang besar. Banyak yang memiliki sel perawat yang terkait dengan oosit mereka, tetapi peran potensial mereka dalam vitellogenesis belum ditentukan. Sementara rongga coelomic ovisac pada oligochaetes menampung oosit setelah dilepaskan dari ovarium, dalam beberapa kasus vitellogenesis telah terjadi. Ovarium dan hemocoel, ovarium ditemukan dalam hubungan yang intim dengan sinus darah besar dan rongga tubuh utama (hemocoel) dalam delapan filum. Dalam hal ini, ovarium bermandikan cairan haemocoelic yang berpotensi berfungsi sebagai media untuk transfer prekursor kuning telur ekstraovarium ke oosit. Saran transportasi prekursor dalam kelompok-kelompok ini terutama didasarkan pada penjajaran ovarium dan haemocoel dan pengamatan aktivitas endositosis oleh oosit (Lanna & Klautau, 2022).

Ovarium dan sistem hemal (darah), Sistem hemal adalah bagian khusus dari kompartemen jaringan ikat yang terdiri dari pembuluh dan rongga yang saling berhubungan yang melaluinya darah cair bersirkulasi. Keterlibatan sistem haemal dalam pengangkutan prekursor kuning telur atau metabolit lain secara langsung ke ovarium atau oosit telah diusulkan dalam lima filum. Pengangkutan prekursor melalui sistem peredaran darah pada vertebrata non-mamalia didokumentasikan dengan sangat baik, tetapi pada clade invertebrata, bukti eksperimental umumnya masih kurang, dan spekulasi didasarkan terutama pada pengamatan ultrastruktural dan hubungan erat antara oosit yang sedang berkembang dengan pembuluh darah atau yang setara secara fungsional (misalnya, funiculus bryozoa) dan aktivitas endositosis yang tinggi oleh oosit (Eckelbarger & Hodgson, 2021).

Ovarium, sistem coelomic, dan haemal (darah) yang terjadi bersamaan, dalam lima filum, ovarium berhubungan dengan sistem coelomic dan haemal. Studi eksperimental masih terbatas, tetapi beberapa penelitian menunjukkan bahwa sistem coelomic dan haemal berperan

sebagai tempat penyimpanan nutrisi, terutama pada beberapa kelas echinodermata (Echinoidea, Asteroidea, Ophiuroidea). Ovarium dan sistem pencernaan, sangat sedikit metazoa yang memiliki ovarium yang berhubungan erat dengan sistem pencernaan mereka, yang berpotensi memberikan transfer nutrisi langsung ke ovarium. Beberapa bukti tidak langsung menunjukkan bahwa nutrisi dapat berpindah dari usus ke oosit, tetapi studi eksperimental jarang terjadi kecuali pada Mollusca (Jędrzejowska, 2019).

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah meskipun ada variasi dalam struktur dan mekanisme, proses gametogenesis pada vertebrata dan invertebrata memiliki prinsip dasar yang serupa. Pada vertebrata, spermatogenesis terjadi di dalam tubulus seminiferus dengan dukungan sel Sertoli dan Leydig, melalui tahapan spermatositogenesis dan spermiogenesis. Oogenesis melibatkan oogonia yang mengalami mitosis dan meiosis untuk membentuk oosit. Pada invertebrata, spermatogenesis dapat mencakup pembentukan dua jenis spermatozoa dalam kista berinti banyak, dengan karakteristik mitokondria yang berbeda antara spermatozoa atipikal dan tipikal. Faktor lingkungan, seperti suhu, mempengaruhi aktivitas spermatogenik dan perilaku reproduksi pada kedua kelompok hewan ini. Kesamaan dalam proses dasar menunjukkan bahwa gametogenesis adalah mekanisme konservatif secara evolusi, sementara variasi spesifik mencerminkan adaptasi terhadap kebutuhan reproduksi masing-masing spesies.

DAFTAR PUSTAKA

- Eckelbarger, K. J., & Hodgson, A. N. (2021). Invertebrate oogenesis—a review and synthesis: comparative ovarian morphology, accessory cell function and the origins of yolk precursors. *Invertebrate Reproduction & Development*, 65(2), 71–140.
- Elkouby, Y. M., & Mullins, M. C. (2017). Coordination of cellular differentiation, polarity, mitosis and meiosis—new findings from early vertebrate oogenesis. *Developmental biology*, 430(2), 275–287.
- Hayati, A. (2020). *Biologi reproduksi ikan*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Jędrzejowska, I. (2019). Morphology of ovaries and oogenesis in chelicerates. *Evo-Devo: Non-model Species in Cell and Developmental Biology*, 477–494.
- Lanna, E., & Klautau, M. (2022). Oogenesis and embryogenesis in a cryptogenic species of calcareous sponge (Calcaronea, Heteropiidae) in the southwestern Atlantic. *Invertebrate Biology*, 141(2), e12375.
- Nishimura, H., & L'Hernault, S. W. (2017). Spermatogenesis. *Current Biology*, 27(18), R988–R994.

- Pratiwi, H., & Firmawati, A. (2019). *Embriologi Hewan*. Universitas Brawijaya Press.
- Ramírez-Pinilla, M. P., de Pérez, G. R., & Alvarado-Ramírez, C. (2015). Oogenesis and the ovarian cycle. *Reproductive biology and phylogeny of lizards and tuatara*, 213–252.
- Romansyah, R. (2024). Androgenesis Ikan Tawes (*Barbonymus Gonionotus* BLKR.) Dengan Iradiasi UV (λ 254 nm) Dan Kejut Panas 40oC. *Algoritma: Jurnal Matematika, Ilmu pengetahuan Alam, Kebumihan dan Angkasa*, 2(4), 148-162.
- Sumarmin, R. (2016). *Perkembangan hewan*. Jakarta: Kencana.
- Wuerz, M., Huebner, E., & Huebner, J. (2017). The morphology of the male reproductive system, spermatogenesis and the spermatozoon of *Daphnia magna* (Crustacea: Branchiopoda). *Journal of morphology*, 278(11), 1536–1550.