

BAHAN AJAR ELEKTRONIK

Fertilisasi, Kehamilan dan Perkembangan Embrio



**UNTUK SMA KELAS XI
FASE F**

Penyusun:

Ayu Alfia: Chintya Ika P: Rika Setiawati: Ummul Sitiara S

Identitas Modul

Mata Pelajaran: Biologi

Kelas: XI (Sebelas)

Fase: F

Materi Modul: Sistem Reproduksi Manusia

Capaian Pembelajaran

Pada akhir Fase F, peserta didik memahami sel dan bioproses yang terjadi di dalam sel; keterkaitan antar sistem organ dalam tubuh untuk merespons stimulus internal dan eksternal; pewarisan sifat, pertumbuhan dan perkembangan dalam kehidupan sehari-hari; serta teori evolusi. Konsep-konsep tersebut memungkinkan peserta didik untuk menerapkan dan mengembangkan keterampilan inkuiri sains mereka dalam memecahkan permasalahan kehidupan sehari-hari.

Capaian Pembelajaran

Siswa mampu menjelaskan proses fertilisasi, kehamilan dan perkembangan embrio melalui pengamatan video dengan baik

Daftar Isi

1. Fertilisasi (Pembuahan)

- a. Pengertian
- b. Tahapan utama

2. Kehamilan (Gestasi)

- a. Pengertian
- b. Peran hormon progesteron
- c. Peran hormon

3. Perkembangan Embrio

- a. Tahapan perkembangan
- b. Organogenesis
- c. Plasentasi
- d. Perkembangan janin

Let's Go!





Fertilisasi



DID YOU KNOW?



Fertilisasi merupakan proses terjadinya pembuahan sel telur oleh sel sperma dan ditandai dengan bergabungnya inti kedua sel kelamin tersebut. Berlangsung di dalam oviduk (Purnamasari, 2020).



Sebelum terjadi fertilisasi, terjadi proses kopulasi atau persetubuhan. Sperma yang bercampur dengan air mani (semen) masuk ke dalam saluran reproduksi wanita (vagina).

Tahapan Fertilisasi



Menurut (Sherwood, 2013) langkah-langkah proses fertilisasi meliputi:

1

Untuk membuahi ovum, sperma harus terlebih dahulu melewati dua lapisan pelindung, yaitu korona radiata dan zona pelusida yang mengelilingi sel telur. Sperma dapat menembus korona radiata dengan bantuan enzim khusus yang terdapat di bagian kepala sperma.

2

Setelah itu, sperma menempel pada reseptor khusus (ZP3) di zona pelusida.



Lanjutan...

2

Hanya sperma dari spesies yang sama yang dapat menempel pada reseptor ini. Proses penempelan ini memicu reaksi akrosom, yaitu pecahnya bagian ujung kepala sperma untuk melepaskan enzim yang membantu menembus zona pelusida. Ion kalsium (Ca^{2+}) juga berperan dalam reaksi ini, membantu sperma agar dapat bergerak lebih cepat menuju kepala sperma untuk menembus lapisan pelindung.

3

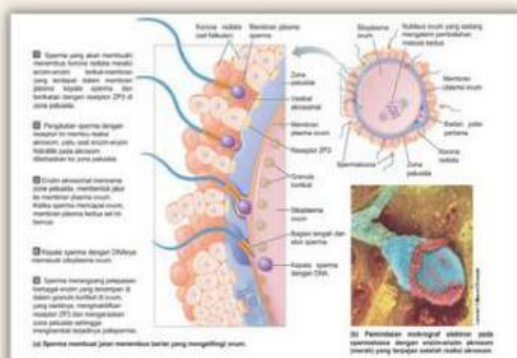
Enzim yang dilepaskan dari akrosom membantu melarutkan zona pelusida, sehingga sperma dapat menembus dan mendekati ovum dengan gerakan ekornya.

4

Sperma pertama yang berhasil menembus akan berfusi (menyatu) dengan membran sel telur. Kepala sperma yang membawa materi genetik (DNA) akan masuk ke dalam sitoplasma ovum, sedangkan ekornya tertinggal di luar.

5

Setelah satu sperma berhasil masuk, ovum akan mengalami perubahan kimia pada membrannya agar sperma lain tidak dapat masuk lagi. Proses ini disebut blok polispermi. Perubahan ini terjadi karena adanya pelepasan ion kalsium di dalam ovum, yang memicu pengeluaran enzim dari granula kortikal, sehingga zona pelusida menjadi keras dan tidak dapat ditembus oleh sperma lain.



Gambar 1. Proses Fertilisasi
(Sherwood, 2013)





Kehamilan

Kehamilan adalah proses pertemuan sperma dan ovum yang membentuk zigot, menempel pada dinding rahim, lalu berkembang hingga lahirnya janin (Efendi dkk, 2022).



Kehamilan terjadi apabila implantasi blastosit dapat dilakukan dengan sukses. Pada manusia berlangsung kira-kira 266 hari atau 38 bulan. Saat terjadi kehamilan, sistem tubuh wanita mengalami perubahan yang sangat penting untuk meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan janin dalam rahim sepanjang proses kehamilan seseorang (Hutahaeen, 2013). Sepanjang sejarah, perubahan telah terjadi pada sejumlah sistem tubuh, termasuk sistem gastrointestinal, muskuloskeletal, hormonal, pernapasan, dan kardiovaskular. Perubahan yang terjadi pada kehamilan mencakup bentuk tubuh dan peningkatan berat badan secara bertahap mulai dari trimester 1 hingga trimester 3. Pada umumnya perubahan ini mengakibatkan ketidaknyamanan yang sering dialami oleh ibu hamil, yakni nyeri punggung (Sari et al., 2023).

Peran hormon progesteron



Progesteron dianggap sebagai komponen fisiologis kunci dalam implantasi dan pencegahan kehamilan. Progesteron sangat penting untuk mempersiapkan endometrium untuk implantasi dan untuk mengurangi invasi dan migrasi trofoblas.



Lanjutan...

Progesteron mendukung rahim dengan mengurangi efek estrogen pada reproduksi, memicu gen yang memungkinkan endometrium mendukung implantasi embrio, dan bertindak sebagai penghalang invasi trofoblas dengan mengontrol aktivitas matriks metaloproteinase (MMP).

Progesteron, baik yang bersifat genomik maupun non-genomik, memainkan peran kunci dalam desidualisasi dan implantasi yang tepat. Selain aksi genomik yang dimediasi oleh reseptor progesteron nuklear (PR-A dan PR-B), progesteron juga dapat menyebabkan pensinyalan sitoplasma yang cepat. Dalam aksi progesteron non-genomik yang cepat, reseptor progesteron yang terikat membran telah ditemukan.

Dalam kesehatan manusia, produksi progesteron akhirnya ditingkatkan oleh estrogen, dan kadar progesteron serum berkisar antara sekitar 100 hingga 500 nmol/L. Progesteron sangat penting untuk mencegah kehamilan, baik melalui efek imunologis maupun endokrin.

Toleransi ibu terhadap janin "semi-allograft" penting untuk keberhasilan kehamilan. Progesteron melalui faktor penginduksi progesteron (PIBF) yang dihasilkan oleh limfosit PR-positif menekan aktivitas sel NK dan meningkatkan sitokin Th2, menjaga keseimbangan imun selama kehamilan (Nagy et al., 2021).



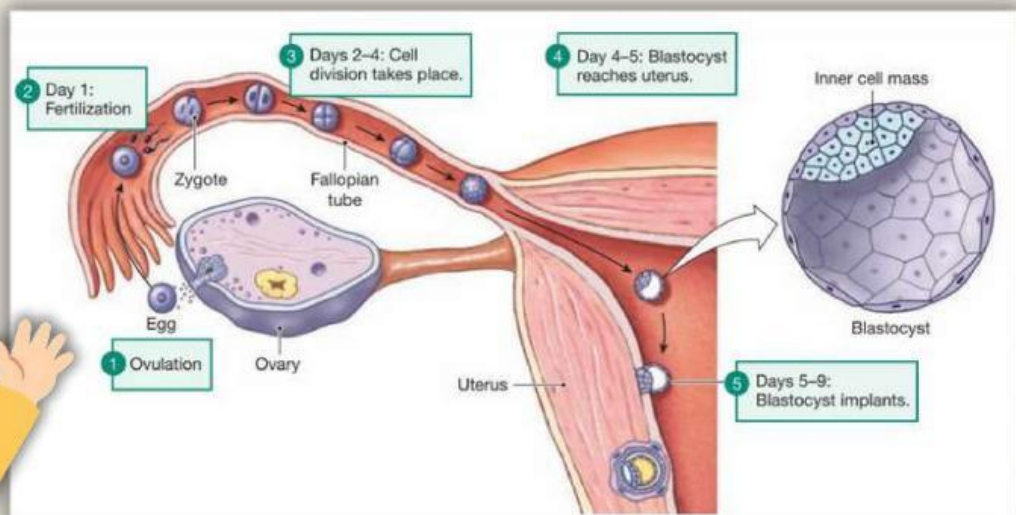


Lanjutan...

hCG (human chorionic gonadotropin) menjaga fungsi korpus luteum pada awal kehamilan.

Menurut Silverthorn (2015), kelangsungan hidup korpus luteum pada tahap awal kehamilan disebabkan oleh human chorionic gonadotropin (hCG). Karena hCG meniru kerja LH, hormon ini merangsang korpus luteum untuk terus mensekresi progesteron, sehingga mempertahankan lapisan rahim. Korpus luteum adalah sumber utama hormon progesteron pada masa awal kehamilan. Sekitar minggu ketujuh, plasenta sendiri mengambil alih produksi progesteron, sehingga korpus luteum tidak lagi diperlukan. Korpus luteum kemudian rusak, dan kadar hCG akhirnya menurun setelah mencapai puncaknya pada trimester pertama.

Perkembangan Embrio

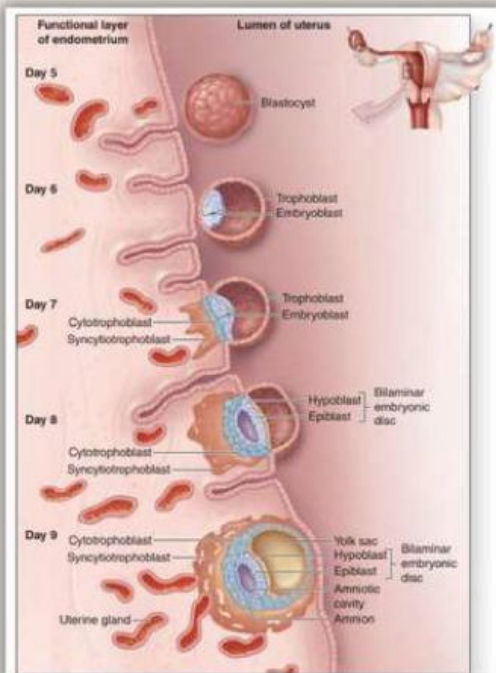


Gambar 2. Perkembangan Zigot
Sumber: Silverthorn, 2015





Lanjutan...



Menurut Silverthorn (2015), setelah terjadi fertilisasi, zigot mamalia yang terbentuk segera mengalami proses pembelahan (segmentasi) di dalam oviduk. Segmentasi ini adalah proses dimana zigot mengalami pembelahan secara mitosis. Dimulai dari zigot, berkembang dari 2 sampai di 32 sel (fase morula). Tahap berikutnya dalam perkembangan embrio adalah blastulasi.

Gambar 3. Perkembangan Zigot hingga Implantasi
Sumber: Mescher (2018)

Morula yang telah terbentuk kemudian akan berkembang menjadi blastula, yang disebut sebagai blastosis atau blastokista pada manusia karena bentuknya yang mirip dengan kista. Blastosis terbentuk pada empat hingga lima hari setelah fertilisasi dan terdiri dari massa inti sel (ICM), trofoblas, dan memiliki rongga di bagian tengah yang disebut blastocoel. Inner cell mass (ICM) akan membentuk embrio, sedangkan trofoblas akan berkembang menjadi sitotrofoblas dan sinsitiotrofoblas (Aprilia, 2020).

Blastosis akan melayang di dalam uterus selama satu hingga dua hari, dan area pelusida akan berubah dan menghilang. Blastosis kemudian menempel pada epitel endometrium, sekitar enam hari setelah fertilisasi. Bagian trofoblas akan mensekresi enzim proteolitik yang akan menghancurkan dinding uterus (epitelium) sebagai jalan penetrasi embrio ke dalam dinding endometrium. Setelah terbentuk 'jalan masuk', trofoblas berubah menjadi 2 lapisan Sitotrofoblas dan Sinsitiotrofoblas. Fase implantasi adalah fase dengan jenis implantasi embrio yang digunakan pada manusia adalah implantasi invasive, dimana blastosis terbenam sepenuhnya ke dalam jaringan endometrium uterus yang telah digali (Moore et al., 2020).



Lanjutan...

Pada akhir minggu pertama, blastosis tertanam secara dangkal di lapisan endometrium yang tipis. Pada hari ke-9, blastosis sepenuhnya terbenam di dalam endometrium. Untuk menjaga perkembangan kehamilan, sinsitiotrofoblas juga menghasilkan hormone Chorionic Gonadotropin (hCG) yang memasuki darah maternal. Seorang wanita akan dikatakan hamil jika test kehamilan menemukan hCG dalam urinenya. Selanjutnya proses gastrulasi terjadi pada hari ke-15, yang ditunjukkan dengan terbentuknya garis primitif. Proses ini akan membentuk gastrula yang terdiri dari tiga lapisan lembaga, yaitu ektoderm, mesoderm, dan endoderm, yang masing-masing akan berkembang untuk membentuk jaringan dan organ (Moore et al., 2020).

Zygote		Cells totipotent
Cleavage		
Inside-outside determination		Only inner cell mass can form embryo proper
Gastrulation Germ layer formation Ectoderm Mesoderm Endoderm		Brain Spinal cord Peripheral nerves Pigment cells Inner ear Retina Iris Lens Cornea Skin glands Hair Epidermis
Neurulation (neural induction) Central nervous system Neural crest		Remaining ectodermal potency Inner ear Lens Cornea Skin glands Hair Epidermis
Secondary inductions Inner ear Lens		Remaining ectodermal potency Cornea Skin glands Hair Epidermis
Further inductions Cornea Skin glands Hair		Remaining ectodermal potency Epidermis



Gambar 4. Perkembangan 3 lapisan lembaga
Sumber: Carlson (2018)



Organogenesis

Organogenesis adalah proses pembentukan organ-organ tubuh eksternal dan internal embrio, yang berasal dari lapisan-lapisan lembaga **ektoderm (lapisan luar)**, **mesoderm (lapisan tengah)** dan **endoderm (lapisan dalam)**. Organogenesis ini merupakan tahapan perkembangan embrio yang paling sensitif dan memerlukan waktu paling lama.

1

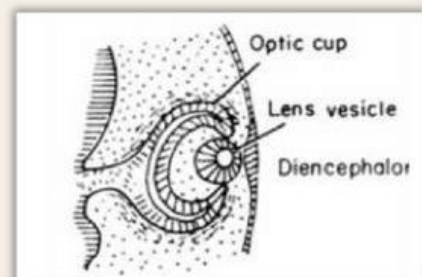
Turunan ektoderm

a. Pembentukan sistem saraf pusat

Pada tahap awal perkembangan embrio, sebagian ektoderm menebal membentuk lempeng saraf (neural plate). Lempeng saraf kemudian melipat membentuk bumbung (tabung) neural. Bumbung neural akan berkembang menjadi sistem saraf pusat, yaitu otak dan sumsum tulang belakang sedangkan sebagian kecil sel dari tepi tabung neural disebut sel kista neural akan membentuk sistem saraf tepi (ganglion dan saraf otonom).

b. Pembentukan mata

Pembentukan mata embrio manusia mulai terjadi pada usia kehamilan 6 minggu. Dari ektoderm saraf (yang berasal dari otak depan embrio), terbentuk vesikula optik yang akan menonjol ke arah ektoderm permukaan. Vesikula optik ini kemudian membentuk cangkir optik (optic cup) yang menjadi retina. Ektoderm permukaan di atasnya akan menebal menjadi plakoda lensa, lalu membentuk lensa mata. Struktur pendukung seperti kornea dan kelopak juga berasal dari ektoderm permukaan (Majumdar, 1985)



Gambar 5. Perkembangan vesikula optik dan vesikula lensa pada embrio manusia (Majumdar, 1985)





Lanjutan...

C. Pembentukan kulit

Sel-sel ektoderm membelah secara mitosis membentuk 2 lapisan, yaitu periderm (sebelah atas) dan ektoderm (sebelah bawah). Periderm hilang sebelum bayi lahir. Pada akhir bulan ke-2 sel-sel ektoderm berproliferasi membentuk 2-3 lapis sel yang disebut stratum germinativum (stratum basale). Stratum berikutnya terbentuk di atasnya, yaitu stratum spinosum. Berikutnya terbentuk stratum granulosum yang terdiri dari 3-5 lapis sel; sel-selnya memiliki granula keratohialin. Berikutnya terbentuk stratum lusidum (pada kulit tak berambut/ kulit tebal) berupa selapis tipis sel. Selanjutnya terbentuk stratum korneum yang merupakan lapisan epidermis teratas. Sel-sel mati dari stratum korneum secara kontinyu dilepaskan dari permukaan kulit, digantikan oleh sel-sel lusidum.

2 Turunan mesoderm

a. Pembentukan ginjal

Ginjal merupakan turunan dari mesoderm intermedier (mesomer). Pembentukan ginjal embrio vertebrata ditandai dengan adanya penonjolan pada mesoderm intermedier di daerah anterior embrio, yang disebut nefrotom. Selanjutnya perkembangan ginjal berlangsung dari anterior ke posterior, dimulai dengan pembentukan ginjal tipe pronefros, kemudian mesonefros, dan terakhir metanefros. Ginjal pronefros ini terjadi pada minggu ke-4 dan tidak berfungsi pada manusia. Selanjutnya pada tahap mesonefros terjadi pada minggu ke 4-8 disebut dengan ginjal sementara yang membantu ekskresi embrio awal. Selanjutnya yaitu tahap metanefros terjadi pada minggu ke-5 disebut dengan ginjal sejati yang akan menjadi ginjal permanen pada manusia.

b. Pembentukan gonad

Gonad merupakan organ reproduksi utama yang berfungsi menghasilkan sel kelamin (gamet) dan hormon reproduksi.



Lanjutan...

Testis pada laki-laki dan ovarium pada perempuan berasal dari mesoderm intermediet. Berawal dari penebalan epitel mesoderm di dinding posterior rongga tubuh embrio, disebut gonadal ridge (lipatan gonad).

c. Pembentukan testis:

- Bagian korteks gonad indiferen tereduksi. BSK dari bagian korteks akan bermigrasi ke pita-pita seks primitif di medula.
- Pita-pita seks primitif akan membentuk rongga → menjadi tubulus seminiferus; BSK di dalamnya akan menjadi spermatogonium, epitelnya akan menjadi sel Sertoli.

d. Pembentukan ovarium:

- Bagian medula gonad indiferen tereduksi; pita-pita seks primitif direduksi, kemudian medula diisi oleh sel-sel mesenkim dan pembuluh darah.
- Bagian korteks menebal, BSK di dalamnya menjadi oogonium. Sel-sel epitel korteks membentuk sel-sel folikel. Oogonium memasuki tahap awal oogenesis dan berkembang menjadi oosit. Oosit beserta sel-sel folikel membangun folikel telur.

3

Turunan endoderm

a. Pembentukan saluran pencernaan

Saluran pencernaan primitif terbagi menjadi 3 bagian, yaitu usus depan (fore gut), usus tengah (mid gut), dan usus belakang (hind gut).

- **Usus depan:** terbentuk oleh adanya pelipatan endoderm atap arkenteron bagian anterior, yang akan diikuti oleh mesoderm splanknik. Usus depan akan menjadi rongga mulut, faring, esofagus, lambung dan duodenum.



Lanjutan...

- **Usus tengah:** daerah arkenteron antara usus depan dan usus belakang. Usus tengah akan menjadi yeyunum, ileum dan kolon
- **Usus belakang:** terbentuk oleh adanya pelipatan endoderm atop arkenteron bagian posterior, yang akan diikuti oleh mesoderm splanknik. Usus belakang akan menjadi rektum dan kloaka atau anus. Epitel saluran pencernaan terbentuk dari endoderm, kecuali epitel mulut dan anus – dari ektoderm. Jaringan-jaringan/ struktur-struktur lain penyusun saluran pencernaan dibentuk oleh mesoderm splanknik.

b. Pembentukan hati

Hati berasal dari tunas hati (hepatic diverticulum), yaitu penonjolan kecil dari endoderm foregut (usus depan) ke arah mesoderm sekitarnya (septum transversum). Tunas hati kemudian berkembang menjadi dua bagian: Bagian besar (pars hepatica): membentuk jaringan hati (hepatosit). Bagian kecil (pars cystica): membentuk kantong empedu dan saluran empedu. Tahap perkembangan pembentukan hati dimulai dengan Sel-sel endoderm menembus mesenkim dan berdiferensiasi menjadi hepatosit, membentuk lempengan hati (hepatic cords). Pembuluh darah dari vena vitelina dan umbilikalis masuk ke dalam hati dan membentuk sinusoid hepatis. Hati menjadi organ terbesar embrio pada minggu ke-10 karena aktivitas pembentukan sel darah (hematopoiesis).

c. Pembentukan pankreas

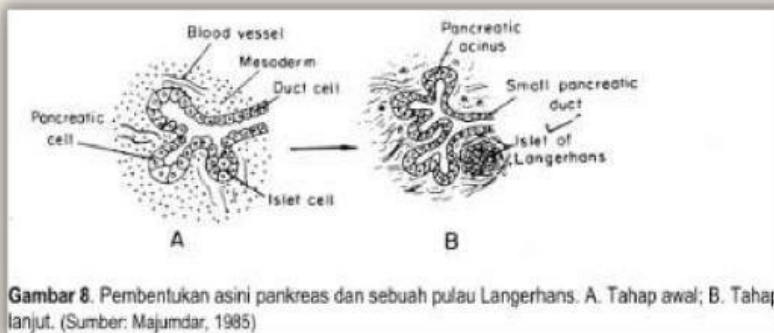
Pankreas tunggal berasal dari dua buah tonjolan endoderm di dekat tunas hati (1 diventral dan 1 di dorsal). Kedua tonjolan tersebut kemudian bercabang-cabang dan berfusi membentuk pankreas tunggal.

- Sel-sel pankreas sekretori (asini pankreas) dan sel-sel duktus pankreatik dibentuk dari sel-sel endodermal



Lanjutan...

- Pulau-pulau Langerhans dibentuk dari sel-sel endodermal. Pada awal perkembangannya, kelompok sel-sel endodermal ini menjadi terpisah dan terperangkap dalam mesoderm di antara asini pankreas. Kelompok-kelompok tersebut termodifikasi menjadi sel-sel pulau Langerhans. Di dalam pankreas manusia dewasa terdapat 200.000 sampai 1.800.000 pulau Langerhans.c. Pembentukan pankreas
- Pankreas tunggal berasal dari dua buah tonjolan endoderm di dekat tunas hati (1 diventral dan 1 di dorsal). Kedua tonjolan tersebut kemudian bercabang-cabang dan berfusi membentuk pankreas tunggal.



Gambar 8. Pembentukan asini pankreas dan sebuah pulau Langerhans. A. Tahap awal; B. Tahap lanjut. (Sumber: Majumdar, 1985)

Gambar 6. Pembentukan pankreas



d. Pembentukan trakea dan paru-paru

Paru-paru berasal dari tonjolan ventral (lung bud atau divertikulum respiratorius) yang muncul dari dinding ventral foregut pada minggu ke-4 embrio. Tonjolan ini tumbuh ke arah mesenkim dan membentuk saluran pernapasan bawah (lower respiratory tract). Pembentukan trakea dan paru-paru berkaitan dengan saluran pencernaan. Pada usus depan di perbatasan faring dan esofagus terjadi evaginasi endoderm ke arah ventral membentuk lekuk laringotrakea. Lekuk laringotrakea memanjang, kemudian memisahkan diri dari usus depan dan akan tumbuh ke arah posterior sebagai trakea yang terletak di sisi ventral esofagus. Endoderm yang berasal dari usus depan membentuk bagian epitel trakea, sedangkan tulang rawan,