

Ruang Lingkup, Kegunaan, dan Cara-cara Mempelajari Embriologi

Drs. Soeminto, S.U, dkk.



PENDAHULUAN

Modul 1 dari mata kuliah embriologi ini akan menjelaskan tentang berbagai hal yang berkaitan dengan embriologi, seperti pengertian kata embriologi dan sejumlah kata yang selalu terkait dengan kata embrio; latar belakang yang mendasari timbulnya embriologi sebagai salah satu cabang biologi; perkembangan embriologi dan manfaatnya bagi kehidupan sehari-hari. Di samping itu, dalam Modul 1 ini pun akan dibahas tentang proses pembelahan sel, pertumbuhan sampai dengan perkembangan embrional suatu organisme. Akhirnya, untuk membantu Anda di dalam memahami materi yang disajikan, dalam pemaparannya diuraikan pula tentang cara-cara mempelajari embriologi dan informasi tentang bahan-bahan apa saja yang dapat dipakai untuk keperluan tersebut.

Dengan mempelajari semua topik di atas dengan seksama, di akhir semester Anda diharapkan mampu menjelaskan atau menyebutkan:

1. Pengertian dan latar belakang sejarah embriologi;
2. Bidang spesialisasi embriologi;
3. Kegunaan mempelajari embriologi;
4. Proses diferensiasi sel pada organisme tingkat tinggi;
5. Cara dan bahan untuk mempelajari embriologi.

KEGIATAN BELAJAR 1

Ruang Lingkup Embriologi

Anda akan mempelajari pengertian embriologi hewan dan ruang lingkungannya yang meliputi bidang-bidang spesialisasi yang ada di dalamnya, latar belakang timbulnya bidang ilmu embriologi hewan serta kegunaan mempelajarinya. Bila dalam Kegiatan Belajar 1 ini Anda disodori uraian tentang latar belakang sejarah timbulnya embriologi, bukan berarti Anda harus menghafal urutan tahun dan daftar nama orang penting yang terlibat di dalamnya. Melainkan agar Anda mengenal bagaimana asal-muasal munculnya bidang ilmu ini, siapa-siapa saja orang yang menjadi perintis dan penerus perkembangan embriologi selanjutnya. Dan bagaimana perjuangan dan kegigihan mereka di dalam menjawab tantangan yang ada pada saat itu yang serba terbatas materi maupun fasilitasnya sampai diperoleh hasil yang bermanfaat bagi kehidupan manusia saat ini dan di masa yang akan datang.

Dari pengalaman para perintis embriologi ini, kita dapat menarik suatu pelajaran bahwa untuk mencapai suatu cita-cita atau tujuan tertentu dalam kehidupan kita, jangan sekali-kali yang pertama kita tuntut adalah kelengkapan fasilitas. Semangat perjuangan dan kemampuan untuk memanfaatkan apa yang tersedia di sekitar kita merupakan modal.

A. EMBRIOLOGI

Semua hewan tingkat tinggi berasal mula dari zigot, yaitu sel telur (ovum = sel kelamin betina) yang telah bersatu dan telah melebur dengan spermatozoon (sel kelamin jantan). Persatuan antara kedua jenis sel kelamin melalui suatu proses yang disebut **pembuahan**.

Embrio merupakan suatu tingkat perkembangan atau kehidupan awal individu, yang dimulai sejak terjadinya pembuahan sampai sebelum dicapainya suatu bentuk, struktur maupun fungsi yang sudah tetap, seperti pada orang tuanya.

Embriologi berarti cabang biologi yang mempelajari pertumbuhan dan perkembangan tingkat awal individu, dalam lingkaran perkembangannya, yang dimulai dari sel telur tunggal yang telah dibuahi, ke arah susunan yang jauh lebih kompleks dan ke arah kehidupan bebas seperti induknya.

Embrio sebagai fase pertama sejarah kehidupan individu (*life history*) yang utuh, terdiri dari masa embrio, masa kanak-kanak, masa remaja, masa dewasa dan diakhiri masa tua dan kemudian mati.

Sejarah kehidupan individu yang utuh atau lengkap ini disebut **ontogeni**. Batas masa embrio ditetapkan sebagai perkembangan sebelum metamorfosis

pada amphibi (katak), sebelum penetasan pada bangsa burung dan reptil, dan sebelum kelahiran pada mamalia. Ada beberapa ahli yang ingin membatasi perkembangan embrional sampai dengan maturitas (saat mulai berfungsinya alat kelamin individu) atas dasar perkembangan alat genital, namun hal itu banyak yang tidak menyetujuinya.

Adanya batas-batas atau fase-fase perkembangan dalam sejarah kehidupan individu, sebenarnya merupakan usaha manusia untuk mempermudah cara mempelajarinya saja. Sesungguhnya, penetasan dan kelahiran maupun yang lainnya, bukan merupakan peristiwa yang istimewa. Peristiwa-peristiwa ini terjadi dalam suatu proses perkembangan yang berkesinambungan, yang merupakan rantai kejadian yang saling berhubungan dan tak terputus, tidak ada garis pemisah atau pembatas antara tingkat perkembangan yang satu dengan yang lain.

Dalam membicarakan embriologi sering kita temui istilah **fetus**. **Fetus** merupakan suatu tingkat perkembangan yang telah mencapai bentuk dasar yang mirip induknya, tetapi perkembangan pemasakannya belum selesai. Artinya bahwa organ dan jaringan yang menyusun individu tersebut secara struktur dan kelengkapannya sudah sempurna tetapi organ dan jaringan tersebut belum mampu melakukan aktivitas sesuai fungsinya. Sebagai contoh, paru-paru telah terbentuk dengan sempurna, tapi ia belum dapat melakukan fungsi pernafasannya; saluran pencernaan sudah terbentuk dengan lengkap, tetapi ia belum dapat melakukan fungsi pencernaannya. Pada hewan berkantung (marsupium), saat lahir ia masih dalam tingkat fetus, di mana belum ada bulu pada tubuhnya, alat gerakanya belum dapat dipergunakan untuk berjalan dan melompat-lompat, ukuran tubuhnya masih terlalu kecil dan perkembangan selanjutnya terjadi di dalam kantung perut induknya (Marsupium). Embrio manusia setelah kehamilan delapan minggu, disebut juga fetus. Fase-fase perkembangan embrio manusia pada umumnya adalah:

1. **Fase telur**, 1 - 14 hari setelah konsepsi,
2. **Fase embrio**, 15 - 56 hari setelah konsepsi,
3. **Fase fetus**, 57 hari setelah konsepsi.

Bidang-bidang Spesialisasi dalam Embriologi

Berbagai bidang khusus dalam embriologi berkembang dengan pesat. Hal ini terjadi sebagai konsekuensi dari kemajuan ilmu pengetahuan alam dan tersedianya peralatan dan teknik-teknik yang baru. Pada awal-awal perkembangannya, penelitian-penelitian yang dilakukan ditekankan pada penelusuran pola struktur dasar tubuh embrio. Selanjutnya perhatian sedikit demi sedikit dialihkan pada pendalaman tentang struktur dan susunan organ-organ internal yang sangat kecil dari embrio. Karya semacam ini mengalami kemajuan yang pesat dan dilaksanakan dengan kecermatan tinggi, karena didukung teknik-teknik baru yang dikembangkan antara tahun 1880-1890,

yaitu teknik pembuatan sayatan seri (His) dan metode lempeng lilin (**wax plate**). Kedua teknik ini dapat digunakan untuk membuat rekonstruksi sayatan-sayatan yang dibuat dengan skala yang tepat (His dan Born).

Pada penghujung abad ke-19, dengan perbaikan-perbaikan mikroskop dan perkembangan teknik histologi yang lebih efektif, perhatian para ahli mulai berpindah ke struktur embrio yang lebih kecil, yaitu ke tingkat sel. Tetapi publikasi masih terbatas pada pembuatan gambar-gambar dan penjelasan ciri-ciri struktur embrio pada berbagai tingkat umur. Oleh karenanya disebut **embriologi deskripsi** (descriptive embryology).

Dengan bertambahnya pengalaman para ahli embriologi dan perbaikan metode, maka semakin banyak dan beragam organisma yang diteliti serta semakin cermat pula penelitian yang dilakukan. Dengan demikian dapat diketahui persamaan dan perbedaan ataupun pola perkembangan dari organisme yang berbeda pada umur perkembangan yang sama. Bidang embriologi yang mempelajari persamaan dan perbedaan struktur embrio dari spesies klasik yang berbeda yang umurnya sama, disebut **embriologi perbandingan** (comparative embryology).

Embriologi perbandingan ini sangat besar artinya bagi kemajuan embriologi manusia. Hal ini disebabkan embrio manusia pada tingkat-tingkat awal perkembangan sulit diperoleh pada saat itu, dan informasi mengenai perkembangannya hanya bisa diperoleh dari embriologi perbandingan. Baru kemudian setelah koleksi embrio manusia yang diperoleh semakin lengkap, pendugaan tentang embriologi manusia yang diperoleh dari embriologi perbandingan menjadi dipertegas. Keberadaan embriologi perbandingan saat ini masih tetap penting terutama untuk menafsirkan beberapa proses perkembangan manusia yang berlangsung sangat cepat yang hanya dapat diinterpretasikan dengan membandingkannya dengan proses-proses yang serupa pada organisme lain.

Cabang baru embriologi yang baru muncul adalah embriologi eksperimental. Cabang embriologi ini mempelajari faktor-faktor yang mengaktifkan atau mengatur proses perkembangan. Bila embriologi deskriptif mengulas tentang kapan dan bagaimana suatu proses embriologi terjadi, maka embriologi eksperimental mencari jawaban mengapa suatu proses perkembangan bisa terjadi, selalu dengan cara demikian dan pada waktu yang tertentu. Salah satu cara pendekatannya ialah dengan merubah keadaan lingkungan eksternalnya. Misalnya embrio diberi gangguan fisik, misalnya dengan diberi radiasi, atau diberi gangguan kimiawi misalnya ditaruh dalam ruang tanpa oksigen. Cara eksperimen lain, dengan merubah keadaan lingkungan internalnya. Eksperimen ini dapat dilakukan dengan memotong sebagian kecil bagian embrio, kemudian menumbuhkannya di luar tubuh embrio dengan metode biakan jaringan. Cara eksperimen demikian disebut **eksplantasi**. Dapat juga primordia sekelompok sel-sel muda

dicangkokkan pada lingkungan yang berbeda dalam embrio lain, misalnya pada membran korio-alantois. Cara eksperimen semacam ini disebut **interplantasi**. Eksperimen dapat pula dilakukan dengan cara merusak atau mengambil suatu bagian embrio yang sedang tumbuh untuk melihat seberapa besar daya pemulihan atau regenerasi jaringan yang masih tertinggal.

Perkembangan embriologi eksperimental sangat berhubungan dengan kemajuan-kemajuan ilmu-ilmu lain yang ada hubungannya dengan embriologi. Sebagai contoh pemanfaatan pengetahuan fisiologi hormon untuk memahami urutan kejadian yang saling berhubungan dalam sistem reproduksi betina dalam persiapannya untuk mengimplantasi embrio dan selanjutnya untuk memberi makan embrio. Kemajuan dalam ilmu fisika, memberi kemungkinan kepada ahli embriologi untuk menggunakan atom runutan (atom berlabel). Zat radioaktif ini memelopori metode untuk mempelajari bahan makanan yang diperlukan embrio ketika embrio sedang mengalami pertumbuhan. Dalam hubungannya dengan atom runutan ini, sebenarnya berkembang satu cabang embriologi, yaitu **embriologi kimiawi**. Embriologi kimiawi sebagai cabang embriologi yang mempelajari perubahan-perubahan atau persenyawaan-persenyawaan kimiawi yang terjadi selama perkembangan embrio. Cabang embriologi ini tidak begitu berkembang karena agak berhimpitan dengan embriologi eksperimental. Sumbangan lain dari fisika, ialah penggunaan sinar X yang dapat dipusatkan pada daerah-daerah kecil embrio yang sedang tumbuh. Dengan cara ini dapat dilakukan pengrusakan jaringan tanpa mengganggu struktur yang mengelilinginya. Dengan demikian kita dapat mempelajari nasib bagian-bagian embrio pada fase-fase yang sangat awal. Dari kemajuan fisika pula munculnya mikroskop elektron. Dengan hadirnya mikroskop ini, maka dapat dipelajari **struktur intra sel** yang memberi kemungkinan pendekatan biologi pada bidang kimia organik.

Bidang pengetahuan yang mempelajari sebab-musabab terjadinya cacat sejak lahir, baik itu cacat bawaan maupun cacat sebagai akibat sesuatu hal, misalnya kesalahan makan obat pada saat sedang hamil, disebut **teratologi**. Kata teratologi, berasal dari kata Yunani kuno, teratos, yang berarti *monster* dan logos yang berarti *ilmu*. Para ahli embriologi dan zoologi sepakat menggunakan kata “monster” untuk menyebut individu-individu yang lahir tidak sempurna secara fisik. Pengetahuan ini muncul atau mengemuka, ketika timbul tragedi kelahiran cacat dari bayi-bayi yang dilahirkan oleh ibu-ibu yang pada masa kehamilannya diberi obat penenang yang disebut dengan **talidomid**. Bayi-bayi tersebut lahir dengan cacat atau ketidaksempurnaan anggota badannya, misal dengan tangan yang hanya tumbuh sebatas pergelangan tangan saja, bagian tangan sesudah pergelangan tangan sampai dengan pangkal lengan tidak tumbuh, sehingga pada bayi tadi tangannya hanya tampak sebagai sirip pada ikan dengan jari-jari pada setiap ujungnya.

Cacat dapat juga dalam bentuk tidak sempurnanya anggota badan yang lain, yaitu kaki. Selain dikarenakan obat-obat yang diberikan untuk penenang, juga antibiotika, obat-obat yang dimakan dengan tujuan pengguguran kehamilan yang tidak dikehendaki, virus ataupun organisme penyebab penyakit kandungan dan alat reproduksi, bahkan mungkin oleh infeksi toksoplasma pada ibu yang sedang hamil. Teratologi terbatas membahas cacat-cacat fisik, atau dengan kata lain cacat yang diwujudkan dengan tidak tumbuh atau tidak sempurnanya anggota tubuh individu yang menyebabkan penampakan individu tersebut menjadi menakutkan seperti monster.

Cabang embriologi, yang merupakan ilmu terapan embriologi adalah **obsteri** dan **ginekologi**. Obstetri, ilmu tentang kebidanan, mempelajari tentang cara dan metode untuk menolong seseorang untuk dapat melahirkan dengan baik dan selamat. Ini merupakan ilmu spesial kedokteran, walaupun pada dasarnya sebagai terapan dari embriologi. Selain mempelajari tentang cara-cara menolong orang melahirkan, cabang ilmu ini juga mempelajari tentang perawatan dan persiapan-persiapan yang diperlukan seorang ibu sebelum dan sesudah melahirkan. Ginekologi, sebagai cabang ilmu kedokteran yang mempelajari tentang penyakit kandungan, saat ini menjadi berkembang, juga untuk menangani dan mencegah penyakit kanker kandungan termasuk kanker mulut rahim. Untuk menguasai kedua ilmu ini penguasaannya tidak lepas dari pengetahuan yang mencakup pada pengetahuan embriologi.

B. LATAR BELAKANG SEJARAH

Embriologi pada dasarnya bermula dari suatu gagasan keingintahuan orang tentang:

1. dari mana kita datang? dan
2. bagaimana kita berkembang sebelum lahir?

Keinginan untuk menjawab pertanyaan ini telah dirintis oleh **Aristotle** pada abad sebelum masehi. Ia melakukan pengamatan pada telur-telur ayam yang diinkubasi. Hasil pengamatannya ditulis pada bukunya yang berjudul; **The Generation Animalium** dan **The Historia Animalium**. Dalam bukunya tersebut di antaranya ia menyebutkan bahwa pada embrio ayam dapat dilihat adanya jantung dan pembuluh darah. Tetapi rintisan Aristotle ini tidak mendapat dukungan, dan bahkan kemudian munculah beberapa *teori perkembangan*. Penafsiran yang tepat tentang fenomena perkembangan terletak pada teori sel yang diajukan oleh Matthias Jacob Schleiden (1804-1881) dan Theodor Schwann (1810-1882) pada 1839. Oleh karenanya wajar bila banyak pandangan dalam embriologi yang dilaporkan sebelum itu sering salah dan bahkan aneh; sebagai contoh, pandangan bahwa kehidupan dapat timbul secara spontan dari bahan anorganik atau organik, yang menyusun

dirinya sendiri menjadi organisme yang kurang lebih kompleks. Pandangan ini dipercaya sejak zaman Aristotle sampai masa Redi (1626-1697), Pasteur (1823-1895), dan Tydall (1820-1893).

Berdasarkan catatan yang ada, kita ketahui bahwa pendekatan manusia pada masalah perkembangan, hanya berbekal keinginan dan semangat. Tentu saja, mereka membuat kesalahan-kesalahan yang berat, dan beberapa sumbangan ilmiahnya untuk kita saat ini tampak mentah, belum lengkap dan tidak masuk akal. Hal ini karena belum adanya mikroteknik, instrumen yang memadai dan alat-alat optik, belum adanya informasi kimia dan fisika modern, seperti buku dan laporan ilmiah, ditambah adanya kesulitan-kesulitan yang disebabkan belum adanya komunikasi antar ilmuwan.

Ada banyak pemikir yang hanya berspekulasi dalam menanggapi proses perkembangan dan diferensiasi. Pemikir-pemikir ini adalah ahli filosofi, lebih spesifik disebut **filosofi alami**, yang lebih mendasarkan pemikirannya pada pesan alami dibanding mendeterminasinya lewat observasi dan eksperimentasi. Akibat dari beragam pengaruh ini, muncul dua teori perkembangan yang berbeda, satu **Teori Preformasi** dan lainnya **Teori Epigenesis**. Sebetulnya banyak sekali teori perkembangan yang diusulkan, tetapi yang akan dibicarakan di sini hanya dua teori tadi, ditambah sedikit tentang **teori mosaik** dan **teori organiser**, sementara teori-teori yang lain kita sebut saja nama teorinya sekedar untuk pengetahuan.

1. Teori Pereformasi

Secara umum teori performasi menyebutkan bahwa: **Ovum** (sel telur) dalam substansinya mengandung miniatur hewan dewasanya, dan dalam pertumbuhannya (pertambahan besar) bentuk miniatur ini untuk menjadi bentuk dewasanya.

Pada kasus manusia, bentuk miniatur ini disebut **homunculus**, dan dipercaya bahwa setiap ovum dalam ovarium wanita mengandung homunculus tadi, yang dengan rangsangan cairan seminal (cairan yang keluar dari alat kelamin laki-laki pada saat hubungan kelamin) akan tumbuh menjadi dewasa. Penganut teori preformasi mengalami kesulitan dalam berspekulasi dengan manusia dalam hubungannya dengan adanya homunculi di dalam ovum, homunculusnya sendiri harus memiliki ovarium yang telur-telurnya mengandung homunculi sekunder. Homunculi sekunder mengandung ovarium dan telur yang memiliki homunculi tertier, yang lebih kecil lagi dan seterusnya “kotak di dalam kotak”, sampai homunculi menjadi sangat kecil sehingga mereka seolah-olah tidak ada. Kemustahilan para naturfilosofen (filosofi alami) muncul ketika harus menjawab berapa jumlah homunculi yang ada di dalam ovarium **Eva**, wanita pertama di dunia yang menurunkan seluruh manusia di dunia ini. Mereka memperkirakan dua ratus ribu juta

(200.000 juta) dan menurut mereka ketika homunculi ini sudah terpakai seluruhnya, tidak akan ada lagi manusia lahir di dunia, dan dunia akan kiamat. Atas dasar ini, dapat diramalkan kapan kiamat akan terjadi.

Spekulasi seperti ini tampak naif, karena zaman sekarang telah banyak ilmuwan-ilmuwan yang baik, dan mampu melakukan observasi secara tajam. Sekarang masalahnya, mengapa para peneliti tersebut dapat sampai pada kesimpulan yang demikian, kemungkinan karena pengkajiannya dilakukan pada perkecambahan biji tanaman, yang tidak sepenuhnya homolog dengan telur hewan. Faktor lain yang menuntun mereka ke arah kesimpulan seperti ini, karena kebanyakan peneliti ini menggunakan telur ayam yang mudah diperoleh, cocok digunakan untuk penelitian dan mudah diinkubasikan.

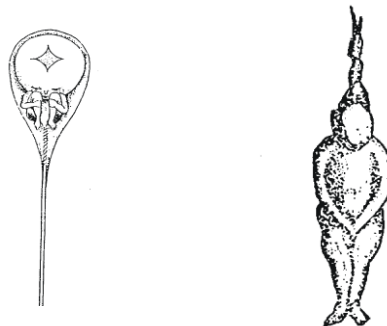
Telur ayam selalu siap memulai perkembangan embrionalnya sesudah telur tadi ditelurkan oleh induknya dan ketika dihadapkan pada temperatur yang sama dengan temperatur ayam yang mengeraminya, embrio dalam telur tadi akan melanjutkan perkembangannya. Di samping itu, para peneliti bidang embriologi hidup dan tinggal di Mesina dan Bologna, suatu daerah di Italia, yang pada musim panas, temperatur udaranya dapat di atas 100°F, setara dengan kurang lebih 38°C, suatu temperatur yang sama dengan temperatur inkubasi untuk telur ayam. Dengan demikian, meskipun telur-telur ayam yang mereka amati belum atau tidak mereka inkubasikan, karena sudah diinkubasi oleh alam, maka ketika dibuka dan diperiksa, di dalamnya telah mengandung embrio, yang kebetulan bentuknya mirip dengan ayam, yang kemudian dianggap sebagai miniatur ayam tersebut. Oleh karenanya tidak mengherankan bila seorang ahli anatomi besar dan juga ahli zoologi Marcello Malpighi (1628-1694), sampai pada kesimpulan yang demikian. Untuk itu telah disepakati bahwa Marcello Malpighi, secara umum ditetapkan sebagai **pendiri embriologi**, sementara Von Baer (1792-1876), yang memberi nama spermatozoon pada sel kelamin jantan, menemukan sel telur manusia (1827) dan memberikan penjelasan dan interpretasi yang jelas tentang arti atau kegunaan lapisan germinal, secara umum dinobatkan sebagai **Bapak Embriologi Modern**.

Teori preformasi diperkuat oleh hasil pengamatan Jan Swammerdam (1637-1680) dan Charles Bonnet (1720-1793) pada insekta. Swammerdam seperti halnya Harvey, mengira bahwa pupa (kepompong) sebagai telur insekta. Oleh karenanya ia melihat bahwa pada insekta yang mengalami metamorfosis lengkap dalam perkembangannya, seperti lalat dan kupu-kupu, imago siap dibentuk di dalam kulit kepompong.

Bonnet melihat kejadian yang sama pada telur-telur aphid (kutu daun) dan menemukan bahwa telur-telur tadi dapat berkembang tanpa harus dibuahi. Dari pengamatannya ini sebenarnya ia telah menemukan proses **partenogenesis**, yang saat itu belum dikenal. Bonnet mendukung adanya

bentuk miniatur hewan dewasa dalam ovum, tetapi ia yakin bahwa miniatur tadi tidak perlu tersusun menjadi tiruan kecil bentuk dewasanya. Ia merumuskan bahwa performasi dapat berupa penempatan pusat-pusat, di sekitar organ sebelum sistem organ terbentuk. Rumusan ini menjadi sangat erat dengan titik pandangan modern kita tentang prelokasi bahan-bahan atau area-area pembentuk organ dalam ovum, yang dikenal dengan **mosaik ovum** pada teori mosaik. Pendukung teori preformasi yang lain seperti Gottfried Wilhelm Leibnitz dan Albrecht von Haller, merupakan filosof-filosof besar yang terkenal.

Kesulitan teori preformasi bertambah ketika Antony van Leeuwenhoek (1632-1723) menemukan spermatozoa manusia, yang olehnya disebut **animalculi**. Diberi nama demikian karena ia menganggap bahwa jasad hidup yang ditemukan itu sebagai organisme bebas seperti protozoa, yang dianggap sebagai parasit yang hidup di dalam cairan seminal. Von Baer kemudian memberi nama **spermatozoon**. De Graaf (1672) menemukan folikuli ovarii (folikel Graaf). Ketika diketahui bahwa baik spermatozoa maupun sel telur sangat diperlukan untuk dimulainya perkembangan individu baru (Spallanzani, 1729-1799) kemudian muncul pertanyaan, di mana sebenarnya terkandung homunculi, di dalam animalculi-kah atau di dalam ovum pada manusia? Akibatnya, penganut teori preformasi terbagi menjadi dua, **kelompok animalculis** dan **kelompok ovulis**. Kelompok animalculis, percaya bahwa homunculi berada pada spermatozoa dan ovum atau uterus merupakan tempat yang cocok untuk pertumbuhannya. Di lain pihak, **kelompok ovulis**, percaya bahwa **homunculi berada di dalam ovum**, yang akan tumbuh dan berkembang menjadi individu baru bila dirangsang oleh cairan seminal.



Gambar 1.1.

Lukisan imaginasi Hartsoeker tentang sperma manusia dengan homunculus-nya. Dari Joseph Needham, dengan ijin, *A History of Embryology*, cetak ulang 1934 oleh Macmilan dan Comp., Ltd., Cambridge.

Ada pandangan yang muncul sebelum Aristoteles dan dipercaya oleh banyak naturalis, yaitu bahwa wanita tidak punya andil atau sangat kecil andilnya pada penyusunan embrio, sementara pria dianggap secara mandiri mampu menghasilkan keturunan. Di lain pihak, sebagian orang memandang ovum, dan uterus, hanya sebagai organ tambahan untuk perkembangan, yang mengandung material lingkungan yang dibutuhkan benih (cairan seminal) laki-laki sebagai tempat yang diinginkan untuk berkembang, tepat seperti bibit tanaman menemukan tanah yang cocok yang dikehendaki untuk berkecambah. Istilah **semen** yang dipakai untuk menyebut suspensi spermatozoa di dalam cairan sekresi kelenjar asesori testis, memiliki arti bibit, demikian pula dalam buku-buku kuno dan dalam injil, lebih banyak disebut-sebut tentang benih laki-laki dan jarang disebut benih wanita. Bertolak dari titik pandangan ini, beberapa ahli biologi (seperti Hartsoeker, 1694; dan Dalenpatius, 1699) dengan tekun mengkaji spermatozoa dengan menggunakan mikroskop yang baru saja ditemukan, dan berusaha untuk mengaktualisasikan gambaran manusia yang akan datang yaitu dengan kepala, leher, lengan dan kaki di dalam spermatozoa (Gambar 1.1a dan 1.1b). Hartsoeker sendiri sebenarnya seorang ahli mikroskop.

2. Teori Epigenesis

Teori epigenesis menyatakan bahwa perkembangan dan diferensiasi embrionik berasal mula dari **masa homogen bahan hidup**. Jadi tidak ada bentuk preforma, tidak ada jaringan maupun organ, teori ini sangat tua dan telah diajukan dalam bentuk yang lebih sederhana dan lebih primitif oleh Aristotle. Teori epigenesis tidak mengalami kemajuan selama abad pertengahan dan masa William Harvey, sampai Caspar Friedrich Wolff pada tahun 1759 melalui tesis doktornya yang cemerlang, menyusunnnya kembali pada dasar yang kuat dan masuk akal tentang hal tersebut.

W. Harvey cukup besar sumbangannya dalam embriologi terutama pengkajiannya tentang embriologi mamalia, ayam dan hewan-hewan lain. Ia juga menulis embriologi perbandingan, yang membandingkan embrio-embrio dari kelompok hewan yang sangat berbeda seperti vertebrata dan invertebrata. Dari Harvey pula kita mengenal pepatah biologi terkenal **Omne vivum ex ovo** yang berarti bahwa semua benda hidup berasal dari telur. Tanpa mempergunakan mikroskop ia mampu mendengar secara tepat bahwa bagian bahan hidup sel telur ayam yang homogen, dipusatkan di dalam **blastodiskus** (kumpulan blastomer yang bentuknya seperti cawan), sebagai titik putih kecil di permukaan atas yolk (kuning telur). Dengan pepatah biologi itu, ia secara tegas menentang paham abiogenesis, dan secara

revolusioner mengajukan konsep-konsep eksperimentasi untuk memperoleh data-data yang benar. Oleh karenanya sulit dimengerti, bahwa ahli anatomi terkemuka seperti Malpighi, sekitar 60 tahun kemudian membuat kesalahan dalam pengamatannya, untuk mengidentifikasi preforma embrio dalam blastodiskus.

Walaupun teori epigenesis telah diketahui sejak jaman Aristotle, teori ini dianggap sebagai teorinya C.F.Wolff (1733-1794) yang mempublikasikan hasil pengamatannya tentang permasalahan tersebut tahun 1759, di suatu majalah dengan judul **Theoria Generationes**, yang terjemahannya "Teori Pertumbuhan/Perkembangan". Ia melihat pada telur ayam, bahwa: *organ-organ terbentuk dari satu tahap ke tahap yang lain, dan berasal dari bahan hidup yang homogen*. Tidak ada preforma miniatur ayam dalam substansi tadi, dan dalam menggambarkan wujud jaringan, ia menyebut vesikula-vesikula (gelembung-gelembung) kecil, lepuhan dan ampula, yang menjadi sangat sesuai dengan penemuan pada teori sel, yang dikemukakan 80 tahun kemudian. Ia melukiskan pembentukan organ atau jaringan seperti terbentuknya tunas-tunas pada tanaman, muncul pada bagian tepi (epi = tepi ; genesis = pertumbuhan). Meskipun ia sangat ditentang oleh Haller dan Bonnet, tapi ia sangat didukung oleh Johan Friedrich Meckel, yang memuji kecermatan pengamatan Wolff dan kesimpulannya yang masuk akal. Teori ini semakin diterima dengan diketemukannya protoplasma hewan pada tahun 1835 oleh Felix Durjadin dan diketemukannya protoplasma tumbuhan 1846 oleh Hüge von Mohl. Kebenaran rupanya dapat diperoleh melalui kesepakatan antara preformasi dan epigenesis. Bukti-bukti eksperimental telah memperagakan kenyataan bahwa bagian besar bagian organisme yang akan datang (yang akan tumbuh dari telur), dilokalisasi pada awal perkembangan, yang sangat tergantung pada bentuk spesifik dalam telur. Walaupun bahan-bahan pembentuk organ spesifik kemungkinan di preformasikan, tetapi dalam kenyataannya, perkembangan merupakan proses epigenetik, yaitu suatu penambahan berurutan, dan di dalam telur selalu terjadi perubahan-perubahan material.

Karl Ernest von Baer (1792 - 1876) juga melakukan penelitian embriologi. Karyanya menyangkut beberapa bidang ilmu pengetahuan. Jasa pentingnya yang perlu diingat ialah; teori lapisan germinal; penemuan ovum mamalia, rumusan tentang undang-undang biogenesis, dan usahanya dalam mengorelasikan data-data embrionik yang seangkatan menjadi uraian yang terintegrasi.

Sesudah dirumuskannya teori sel oleh M.Schleiden dan T.Schwan (1839), yang menganggap bahwa sel adalah unit dasar kehidupan, yang didukung oleh karya-karya Wilhelm His, dan dikembangkannya metode pengirisan embrio dengan mikrotome, suatu pengirisan embrio yang memungkinkan kita membuat irisan setebal tingkat mikron, dan metode

rekonstruksi dengan lilin (*wax*), memungkinkan banyak peningkatan dalam pengembangan embriologi, teristimewa embriologi manusia pada tahun-tahun terakhir abad ini. His disebut sebagai pendorong ke arah embriologi modern manusia (1831-1904).

3. Teori Rekapitulasi

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada akhir abad ke-20, ditemukan bahwa organ-organ tertentu yang secara anatomis permanen (kekal) pada Vertebrata tingkat rendah, akan muncul secara temporer dalam embrio-embrio Vertebrata yang lebih tinggi. Sebagai contoh, pada embrio reptil, embrio burung dan embrio mamalia, secara temporer memiliki celah insang yang tidak berfungsi. Sebelum membentuk metanephros, embrio mamalia membentuk dulu pronephros dan mesonephros. Dengan demikian menjadi jelas bahwa embrio dalam perkembangannya mengulang sejarah filogeni atau mungkin (diduga) sejarah evolusi bangsanya (ras-nya). Prinsip ini kemudian ditetapkan sebagai undang-undang biogenesis yang disusun oleh Haeckel, yang sering disingkat dengan **ontogeni mengulang filogeni**.

Dalam peristiwa ini, tampak bahwa embrio membentuk suatu perubahan adaptasi, yaitu suatu perubahan yang dibutuhkan supaya ia dapat berhasil tumbuh dan berkembang. Dua macam sifat yang perlu diperhatikan dalam rekapitulasi, yaitu;

- a. sifat primitif yang universal (**palingenetik**), dan
- b. sifat karena spesialisasinya yang dibatasi pada sifat yang asalnya paling baru (**cenogenetik**).

4. Teori Mosaik

Pandangan His, terutama interpretasi mekanisme perkembangannya, dapat bertahan lama dan sangat di dukung oleh sokongan Wilhelm Roux (1805-1924), salah seorang siswa Haeckel. Dengan berani Roux menyatakan bahwa, untuk mengetahui penyebab pertumbuhan dan diferensiasi kita harus mencarinya lewat eksperimen. Melalui pengamatan pada telur katak, ia menyimpulkan bahwa, diferensiasi yang kompleks dapat disingkat menjadi diferensiasi yang sederhana. dan diferensiasi yang sederhana, pada analisis akhirnya dapat diringkas menjadi proses-proses psiko-kimia yang biasa. Sumbangan Roux yang terkenal pada embriologi, adalah cara dalam memecahkan masalah perkembangan. Tepat seperti gurunya, E. Haeckel, Roux juga mengilhami siswa dan pengikutnya dengan metode riset khusus yang unik. Pengkajiannya pada telur katak, memberikan keyakinan bahwa, area-area tertentu telur selalu telah dipersiapkan dalam ovarium untuk berkembang menjadi daerah-daerah tertentu embrio. Bagian gelap bulatan animal telur katak yang belum terbuahi, akan tumbuh menjadi bagian kepala

embrio, dan bulatan vegetalnya akan berkembang menjadi bagian posteriornya.

Sebelum terbuahi, ovum yang utuh adalah radial simetris, sesudah terbuahi, bidang meridional yang lewat melalui kedua kutub telur (kutub animal dan kutub vegetal), dan titik masuknya sperma, menetapkan sisi kanan dan sisi kiri embrio dan menyiapkan bentuk bilateral simetris embrio. Ketika pembelahan segmentasi berlanjut, dan blastomer (sel-sel hasil pembelahan segmentasi zigot) menjadi semakin kecil ukurannya, beberapa area untuk jaringan dan organ yang khusus, telah tergambar pada blastula. Sehingga, telur tadi akan tersusun membentuk mosaik (petak-petak).

Ketika teori mosaik diujikan pada seluruh tipe telur, terbukti bahwa tidak seluruh telur berkembang dengan proses yang sama. Pada pembelahan segmentasi pertama, telur-telur seperti amphibia, amphioxus atau echinodermata, dua atau empat blastomer pertama, bila dipisahkan dan diberi kesempatan tumbuh akan berkembang menjadi dua atau empat larva yang sempurna seperti berasal dari satu telur yang utuh. Dengan demikian, bahan formatif untuk pertumbuhan atau perkembangan ke arah larva yang sempurna tadi, harus ada dalam setiap dua atau empat blastomer dari hasil segmentasi pertama atau kedua, seperti yang ada di dalam ovum utuh. Hal seperti ini tidak terjadi pada telur Anelida, Moluska dan kebanyakan Arthropoda. Bila dua blastomer pertama telur-telur ini dipisahkan dan diberi kesempatan untuk tumbuh dan berkembang yang sama, mereka akan tumbuh dan berkembang menjadi monster, yang dalam perkembangan selanjutnya dapat dikenali sebagai bagian anterior (bagian kepala) dan bagian posterior (bagian ekor) larva normal. Telur-telur Amphibia, amphioxus dan echinodermata, oleh Conklin dikatakan memiliki **indeterminant cleavage** dan telur-telur anelida, moluska dan lainnya disebut sebagai telur **determinant cleavage**.

Telur-telur yang termasuk pada kelompok pertama (kelompok **indeterminant cleavage**) memiliki ciri yaitu adanya area atau zona-zona oleh pigmen, oleh protoplasma yang jernih atau keruh, atau oleh yolk atau oleh pembeda yang lain, yang bisa dibedakan. Telur-telur echinodermata dan telur amphibia bersegmentasi sedemikian rupa sehingga dua atau empat blastomer pertama mengandung jumlah yang sama dari setiap area, dan oleh karenanya setiap blastomer yang dihasilkan telah disuplai oleh tiap-tiap bahan pembangun dan akhirnya mampu membentuk larva utuh. Sementara pada telur anelida dan moluska, segmentasi pertama tidak diikuti dengan pendistribusian jumlah material telur yang sama ke dalam dua atau empat blastomer pertama, dan ketika blastomer-blastomer tadi dipisahkan, perkembangannya menuju ke arah aborsi.

Konsep ini adalah dasar dari teori mosaik Roux tentang perkembangan, yang bila kita lihat nanti banyak sekali mengandung kebenaran dan mendukung teori perkembangan saat ini. Perkembangan seperti yang menjadi

titik pandangan Roux dan juga peneliti-peneliti lain, tersusun dari diferensiasi sel telur yang kurang lebih homogen dan belum terdiferensiasi dengan prelokasi material yang kasar dan sederhana, menjadi sel-sel yang sangat terdiferensiasi dan terspesialisasi ketika perkembangan berlangsung.

5. Teori Organiser (dari Spemann)

Istilah organiser pertama kali dipakai untuk membatasi area pada bibir dorsal blastopor, yang merupakan area yang dapat menginduksi perkembangan lempeng neural, notokorda dan mesoderma (korda mesoderma) dengan seluruh diferensiasinya. Area tadi bila ditransplantasikan ke dalam berbagai daerah lain germinal amphibi, benar-benar akan menyebabkan terjadinya pertumbuhan larva. Penemuan semacam ini diperoleh Spemann, hingga ia memperoleh hadiah Nobel tahun 1935. Organiser ini sekarang lebih dikenal sebagai bidang **korda mesoderma**, yang merupakan bidang pertama atau bidang primer yang ada dalam germinal amphibi. Ia juga menyebabkan timbulnya organiser sekunder atau medan sub-ordinat, seperti hidung, mata, telinga, insang dan yang lain. Tiap medan dapat menyebabkan dimulainya diferensiasi lewat induksi. Medan yang paling kuat terdapat pada pusatnya dan kekuatannya semakin menurun sesuai dengan jarak dari pusatnya. Submedan menunjukkan pemecahan tingkat akhir medan korda mesoderma yang biasanya akan menjadi area-area yang lebih kecil yang terspesialisasi justru lebih tinggi, yang diperlihatkan dengan diferensiasi yang lebih tinggi (spesifik) sel-sel pembentuk organ yang spesifik.

Bibir dorsal blastopor, tidak hanya sebagai organiser dan daerah yang terdiferensiasi menjadi suatu area aktivitas determinan paling awal dalam hubungannya ke fungsi sel yang spesifik, ia juga sebagai organiser yang paling penting dan paling luas jangkauannya. Kapasitas organiser bibir blastopor menjadi menghilang sesudah gastrulasi menjadi sempurna, ketika keseluruhan proses diferensiasi menjadi tersusun dan pasti.

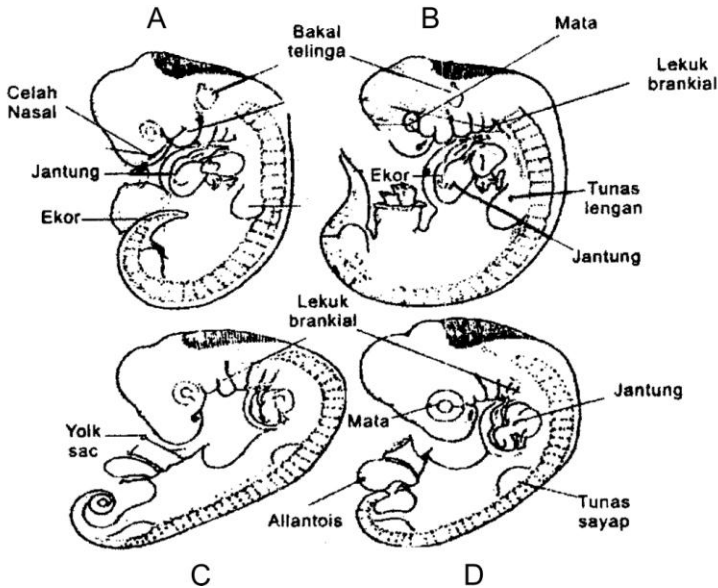
Pada dasarnya semua konsep dan teori, percaya bahwa **protoplasma sel telur** telah diatur. Bahkan bila kepengaturan tidak terjadi, kita harus menerima bahwa, di dalam protoplasma telur ada kepengaturan kimiawi. Kepengaturan dalam telur mempengaruhi lokalisasi aksis kario-kinetis pada pembelahan segmentasi pertama. Ia juga mempengaruhi **distribusi ooplasma**, atau **distribusi inklusiones ooplasma**, yang selanjutnya berfungsi dalam metabolisme, respirasi dan aktivitas telur yang lain. Sebagai contoh pada area tertentu memiliki kecepatan metabolisme yang lebih tinggi atau lebih rendah dibanding area yang lain di dekatnya. Jika didukung respirasi yang tinggi, maka menyebabkan aktivitas telur yang lebih tinggi pula dibandingkan yang aktivitas metabolismenya lebih rendah. Atas dasar-dasar ini, tampaknya masalah perkembangan embrional akan dipecahkan lewat

biokimiawi dan biophysika. Teori-teori perkembangan yang lain diantaranya, **Teori Plasma Benih** Weisman dan **Teori Gradien Aksial Metabolisme** dari Child.

C. KEGUNAAN MEMPELAJARI EMBRIOLOGI

Sebagai suatu ilmu, embriologi tidak hanya berupa semacam ensiklopedi yang berisi kenyataan-kenyataan dan perluasan perbendaharaan kata-kata saja. Disadari atau tidak, kita ini sebenarnya egois, paling tidak sampai pada taraf tertentu, dan apa yang berhubungan dengan masalah dari mana dan akan ke mana tentang diri kita sendiri, dianggap sebagai suatu hal yang sangat menarik. Proses-proses pertumbuhan seekor ikan, atau seekor buaya atau seekor ayam dari satu sel telur tunggal yang telah terbuahi menuju ke struktur dewasa, pada dasarnya sama seperti yang terjadi pada perkembangan diri kita sendiri (Gambar 1-2). Proses-proses pertumbuhan ini memberikan suatu kepastian dalam memberi jawaban pertanyaan yang sering timbul yaitu **Dari mana kita berasal dan bagaimana kita berkembang.**

Embriologi juga merupakan sumber bukti-bukti penting kemungkinan (diduga) adanya jalur evolusi. Embriologi merupakan cerita tak terputus tentang bagaimana tiap-tiap individu tumbuh menjadi dewasa. Kita dapat melihat proses ini berjalan di depan mata kita. Kita juga menjadi tahu sekarang ini bahwa sejarah perkembangan individu secara kasar memberikan dugaan gambaran perubahan-perubahan evolusi nenek moyang kita. Hukum biogenesis atau hukum rekapitulasi menyatakan bahwa: *"tiap-tiap makhluk dalam perkembangannya melewati suatu rangkaian tahap-tahap bentuk yang serupa dengan yang dijumpai dalam perkembangan evolusi dari bangsa (ras) makhluk itu"*. Ini berarti bahwa hanya ada satu cara untuk membentuk suatu macam organisme tertentu, dan tiap individu **harus melalui cara yang sama** seperti yang dialami oleh nenek moyangnya. Pada setiap langkah dalam proses perkembangan selalu terjadi penyesuaian dengan yang dikehendaki alam, dengan tidak mengabaikan proses-proses yang telah dirintis sebelumnya.



Gambar 1.2.

A. Embrio manusia, B. Babi, C. Reptil dan D. Burung, pada tingkat perkembangan yang serupa. Variasi yang begitu jelas antara embrio yang satu dengan embrio lain, menunjukkan kemiripan relatif proses-proses pokok yang terlibat dalam perkembangannya. (Dari William Patten, "Evolution" Dartmouth College Press).

Selain menjelaskan kehidupan sekarang dan kemungkinan menggambarkan sejarah evolusi, embriologi memudahkan untuk memahami pengertian dalam anatomi dengan baik. Dengan bekal pengetahuan embriologi yang baik, mahasiswa akan mudah memahami bagaimana dan mengapa keadaan susunan organisme dewasa seperti itu. Dengan pengertian ini pula memungkinkan mahasiswa tidak sekedar hafal dengan nama-nama dalam anatomi, tetapi juga memahaminya. Ketika Anda mendalami anatomi, kemungkinan akan menjumpai penyimpangan-penyimpangan atau bentuk-bentuk kelainan dari gambaran tubuh yang normal. Kadang-kadang perbedaan atau penyimpangan ini hanya kelainan berskala kecil yang tidak mempengaruhi kemampuan fungsional individu, tetapi kadang-kadang penyimpangan tadi berupa suatu kelainan yang menyebabkan kesulitan pada kelangsungan hidup individu bahkan tidak memberikan kemungkinan individu tadi untuk hidup. Keadaan-keadaan seperti ini dapat kita lacak kembali ke perkembangan embriologiknya, yang memberi kemungkinan

untuk mengkaji sebab musabab terjadinya kelainan tersebut, sehingga dengan demikian di kemudian hari dapat dihindari atau diperkecil frekuensi kejadiannya, untuk ini penguasaan embriologi sangat penting artinya.

Sering kita jumpai adanya kesamaan struktur atau alat-alat yang dimiliki oleh hewan-hewan yang golongannya sama. Misalnya ditemuinya **chordadorsalis** pada setiap anggota **chordata** pada setiap embrionya, dengan demikian embriologi dapat membantu melacak taksa (kedudukan kelas suatu hewan atau tumbuhan dalam tingkatan sistematika) hewan-hewan tertentu.

Sebagai contoh: *Tunicata*, yang bentuk dewasanya mirip Porifera, tetapi karena ia memiliki **chordadorsalis** pada masa embrionya, ia termasuk Chordata. Retip, sebangsa *Bernacle*, yang sering kita temukan menempel pada lunas kapal, sepintas seperti Molusca (lokan), tetapi karena ketika fase larvanya ia mirip Crustace, maka ia dimasukkan kelas Crustaceae.

Untuk belajar ilmu kebidanan (obstetrik) dan penyakit kandungan (ginekologi), perlu mempelajari dulu embriologi. Tak dapat dipungkiri bahwa ilmu kebidanan dan penyakit kandungan, merupakan *embriologi terapan*. Selain itu, banyak masalah yang dihadapi ahli kedokteran anak-anak (pediatrik) bersumber dari cacat perkembangan embrionik. Di luar dugaan, bahwa dengan kemajuan yang telah dicapai, adanya imunisasi dan pengendalian infeksi akut melalui pemberian antibiotika, cacat bawaan (cacat kongenital) justru menjadi meningkat, dan di Amerika menjadi salah satu dari sepuluh penyebab kematian utama. Hal ini menjadi peringatan bagi ahli kedokteran dasar untuk meningkatkan pengetahuannya pada proses-proses perkembangan dan faktor-faktor yang dapat mengganggu perkembangan.

Embriologi juga membantu meningkatkan keberhasilan program keluarga berencana (KB), dengan cara mencegah terjadinya konsepsi. Pencegahan konsepsi ini dapat dilakukan dengan mencegah pertemuan antara ovum (sel telur) dan spermatozoon, mencegah penetrasi spermatozoon ke dalam ovum, serta mencegah terjadinya implantasi (nidasi) embrio ke dalam dinding uterus (endometrium). Adanya hubungan yang erat dengan masalah pengendalian populasi pada manusia, maka embriologi juga bermanfaat dalam konservasi sumber daya hayati hewan. Dengan diketahuinya siklus reproduksi hewan-hewan yang dilindungi atau hewan-hewan yang telah langka, dan dengan dikenalnya masa kawin dan masa beranak, maka ada kemungkinan untuk melakukan pencegahan perburuan atau penangkapan hewan-hewan tersebut pada saat menjelang atau sedang masa bereproduksi. Dan bila mungkin dilakukan usaha penangkarnya. Seperti usaha yang dilakukan pemerintah Amerika Serikat dalam usahanya melindungi

keberadaan ikan Salmon di Air terjun Niagara maka pemerintah mengeluarkan peraturan perundang-undangan, bahwa hanya ikan-ikan salmon yang sudah berjalan turun dari Niagaralah yang boleh ditangkap, karena pada saat ikan ini menentang arus menaiki air terjun. Mereka sedang dalam keadaan akan bertelur, sehingga apabila ditangkap, ikan-ikan tidak mendapat kesempatan untuk bertelur dan berbiak, dan akibatnya menjadi punah.

Embriologi mempunyai kegunaan dalam ilmu kedokteran. Sebagai contoh, sel darah merah sebagai pembawa oksigen dalam tubuh kita, yang umurnya relatif pendek dan sel darah putih sebagai pasukan yang selalu siap menangkis penyakit yang menginfeksi tubuh, sesungguhnya merupakan sel-sel yang mengalami proses perkembangan terus-menerus. Pada proses penyembuhan luka, pemulihan jaringan berlangsung dengan cara dikembalikannya aktivitas yang serupa dengan aktivitas pada awal perkembangan prenatal.

Dipercaya atau tidak, banyak kalangan yang percaya bahwa masalah tumor ganas, pada dasarnya adalah masalah embriologi. Bila sel-sel tertentu dalam tubuh kehilangan tanda-tanda kedewasaannya (kespesifikan sebagai akibat diferensiasinya) dan ketenangannya, maka ia menjadi indifferen, giat berproliferasi dan mudah menjalar. Kita dihadapkan kembali pada keadaan masa embrional, di mana sel-sel berproliferasi secara cepat dan tanpa adanya pengontrolan. Sel tumor ganas ini sebagai sel yang kehilangan mekanisme, yang dalam keadaan normal mengontrol pertumbuhan dan diferensiasi. Salah satu harapan untuk dapat mengatasi masalah sel yang sekonyong-konyong “memberontak” atau “menjadi liar” ini terletak pada kemajuan embriologi eksperimen, yaitu usaha untuk menemukan faktor-faktor yang merangsang dan mengatur proses perkembangan. Bila faktor tersebut dapat ditemukan dan kemudian dapat disintesis dan dimurnikan, maka akan dapat digunakan untuk mengendalikan atau mengembalikan ketenangan sel yang “menjadi liar” tadi.

Embriologi secara langsung ataupun tidak langsung membantu mempersiapkan sumber daya manusia yang berkualitas, untuk mempersiapkan generasi yang akan datang sebagai generasi yang unggul dalam keadaan fisik, mental dan kepribadian. Dengan mempelajari embriologi, kita menjadi mengetahui dengan pasti bahwa kualitas manusia yang akan datang sangat ditentukan keberhasilan perkembangan tingkat-tingkat awalnya. Otak sebagai komponen yang menentukan kecerdasan atau kualitas mental seseorang, pola perkembangan struktur dasarnya telah ditentukan pada awal perkembangan sampai dengan umur 3 bulan kehamilan. Keseluruhan komponen dasar kecerdasan telah dipolakan secara lengkap selama perkembangan tingkat tadi, perkembangan selanjutnya hanyalah merupakan penyempurnaan saja. Jumlah sel otak secara keseluruhan dan

jumlah sel otak dari tiap-tiap bagian telah dicapai pada saat itu, yang belum hanyalah penyempurnaan bentuk-bentuk antar hubungan serabut syarafnya dan juga penyempurnaan bentuk dan susunan serabut syarafnya saja. Alat-alat indera sudah terbentuk dan dapat berfungsi tetapi alat-alat indera tadi belum bisa secara sempurna menghantarkan apa yang ia terima ke otak demikian juga sebaliknya. Proses ini akan terjadi melalui penyempurnaan hubungan antar indera dan otak lewat latihan. Demikian juga halnya sel-sel otot, yang akan menentukan fisik individu, sebagian besar sudah ditetapkan pada taraf sebelum pertumbuhan 4 bulan kehamilan, sementara pengembangan dan penyempurnaannya akan terjadi sesudah itu.

Pengembangan sebagian besar otot hanya berupa pembesaran sel-sel penyusun berkas-berkas ototnya, meskipun ada beberapa yang masih melakukan penambahan jumlahnya. Dengan pengetahuan embriologi manusia, kita akan menjadi lebih mengetahui persiapan-persiapan apa yang diperlukan menjelang saat-saat kehamilan dan apa yang harus dilakukan selama merawat dan memelihara ibu-ibu yang sedang hamil dan sesudahnya, agar dapat dilahirkan dan dikembangkan sosok individu baru sebagai sumber daya manusia yang berkualitas. Para ahli ilmu kejiwaan percaya bahwa kepribadian, nilai moral dipengaruhi juga oleh keadaan mental spiritual ibunya ketika sedang mengandungnya. Seorang ibu hamil yang selalu merasa tertekan, selalu diliputi rasa takut, kecewa dan suasana hubungan suami istri yang tidak harmonis akan menyebabkan pertumbuhan mental spiritual anak yang dikandungnya juga demikian. Anak-anak yang dilahirkan dari ibu-ibu yang pada saat mengandung mengalami tekanan-tekanan mental yang demikian, mungkin akan menjadi anak-anak yang pendiam, rendah diri, takut menyampaikan pendapat, dan lain sebagainya. Oleh karenanya, para ahli ilmu jiwa menganjurkan kepada ibu-ibu yang sedang mengandung agar sedapat mungkin terhindar dari segala macam penderitaan, apa lagi tekanan mental dan rasa kecemasan. Dengan mempelajari embriologi juga menjadi diketahui bagaimana proses menjadi hamil, di mana kehamilan terjadi dan apa saja yang dapat mengganggu bayi yang dikandungnya.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Berikan definisi yang lengkap tentang embriologi hewan!
- 2) Di antara bidang-bidang spesialisasi dalam embriologi hewan, bidang spesialisasi mana yang sangat erat kaitannya dengan kelengkapan embriologi manusia saat itu. Jelaskan mengapa demikian!
- 3) Mengapa Malpighi yang hidup seribu enam ratus tahun kemudian setelah Aristotle dan 60 tahun kemudian setelah William Harvey, sampai pada kesimpulan bahwa di dalam sel telur terdapat miniatur hewan dewasanya, yang disebut homunkuli (Teori Preformasi)? Jelaskan!
- 4) Siapakah Bapak Embriologi Modern, siapa pula Bapak Perintis Embriologi Hewan dan siapa yang memberi nama spermatozoon pada sel gamet jantan?
- 5) Salah satu kegunaan mempelajari embriologi hewan ialah dapat membantu suksesnya program keluarga berencana. Jelaskan!
- 6) Apa yang Anda ketahui tentang; (a) fetus, (b) teratologi, (c) teori epigenesis, (d) telur indeterminate cleavage, (e) sel kanker.

Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk menjawab soal-soal dalam latihan ini, Anda harus mempelajari materi Kegiatan Belajar 1, tentang Embriologi dan Ruang lingkupnya, yang mencakup:

1. definisi embriologi hewan;
2. spesialisasi dalam embriologi hewan;
3. sejarah latar belakang timbulnya embriologi hewan;
4. kegunaan mempelajari embriologi hewan.



RANGKUMAN

Embriologi adalah salah satu cabang biologi yang mempelajari perkembangan tingkat awal individu dan rangkaian perkembangannya, yang dimulai dari sel telur tunggal yang telah dibuahi ke arah susunan yang jauh lebih kompleks dan ke arah kehidupan bebas seperti induknya.

Ada 6 bidang spesialisasi dalam embriologi hewan;

- 1) embriologi deskripsi, yaitu cabang embriologi hewan yang khusus mempelajari gambaran pola struktur embrio-embrio berbagai tingkatan umur dari hewan yang sama.
- 2) embriologi perbandingan, yaitu cabang embriologi hewan yang mempelajari persamaan-persamaan dan perbedaan-perbedaan gambaran pola struktur embrio-embrio berbagai hewan dari spesies atau kelas yang berbeda yang umurnya sama.
- 3) embriologi kimiawi, yaitu cabang embriologi hewan yang mempelajari perubahan-perubahan atau persenyawaan-persenyawaan kimia yang terjadi selama perkembangan embrio.
- 4) embriologi eksperimental, yaitu cabang embriologi hewan yang mempelajari pengaruh pemberian suatu senyawa, pengambilan bagian-bagian embrio tertentu, pengubahan lingkungan tempat embrio berkembang, terhadap perkembangan embrio.
- 5) teratologi, yaitu cabang embriologi hewan yang mempelajari sebab-musabab terjadinya cacat, baik cacat bawaan maupun bukan.
- 6) embriologi terapan, obstetrik dan ginekologi, yang mempelajari ilmu kebidanan dan ilmu tentang penyakit kandungan.

Teori preformasi, sebagai teori yang mempercayai bahwa di dalam sel telur telah terkandung miniatur (preformen) hewan dewasanya, ovum atau uterus sebagai tempat yang baik untuk pertumbuhannya dan cairan seminalis sebagai perangsang untuk dimulainya pertumbuhan atau penambahan besarnya. Setelah ditemukannya spermatozoon (sel kelamin jantan) dan folikel Graff atau sel telur, para ahli biologi terpecah menjadi dua, yaitu penganut animalkulis dan ovulis. Animalkuli, sebutan sel kelamin jantan sebelum dipakai istilah spermatozoon. Penganut animalkulis, mempercayai bahwa bentuk miniatur ada pada spermatozoon, ovulis percaya bahwa bentuk miniatur ada pada sel telur. Orang yang sangat dikenal sehubungan dengan teori ini, Malpighi.

Teori epigenesis, yang lebih dikenal dengan teori C.F. Wolf, mengemukakan bahwa individu berkembang dari material homogen (plasma telur), yang tumbuh membentuk jaringan dan organ secara bertahap; seperti timbulnya tunas-tunas pada pohon. Kebenaran konsep ini didukung oleh W.Roux, dengan teori mosaiknya. Tidak ada individu sempurna, yang ada adalah protein-protein yang memiliki potensi penentu perkembangan, yang terkandung di dalam sel telur.

Teori rekapitulasi, teori yang mempercayai, bahwa dalam perkembangan embrio individu tingkat tinggi, mengulang sejarah perkembangan evolusi (diduga) nenek moyangnya atau sejarah filogeni rasnya. Fase perkembangan embrional yang begitu singkat, sebetulnya merupakan rangkaian evolusi yang cukup panjang dari sejak nenek

moyangnya yang paling purba ke keadaan struktur yang dicapai sampai dengan kehadirannya. Prinsip ini kemudian ditetapkan sebagai **undang-undang biogenesis dari Haeckel**. Secara singkat ditetapkan bahwa ontogeni mengulang filogeni.

Teori mosaik, yang diajukan oleh Wilhelm Roux, menyatakan bahwa di dalam telur telah terdistribusi material-material penentu pembentuk organ, yang tersusun dalam suatu susunan seperti mosaik atau petak-petak. Telur-telur **indeterminant cleavage** sebagai telur-telur yang tidak mengikuti teori mosaik W.Roux, sementara telur-telur **determinant cleavage** mengikutinya.

Beberapa kegunaan mempelajari embriologi selain dapat memberi jawaban dari mana kita datang dan bagaimana kita berkembang sebelum lahir, juga dapat dipakai untuk (1) melacak taksa suatu hewan, (2) membantu mencari bukti-bukti adanya evolusi, (3) memecahkan masalah kelainan anatomis, (4) membantu program keluarga berencana, (5) kemungkinan pengendalian kanker atau kemungkinan penyembuhannya, (6) membantu mempersiapkan penyediaan sumber daya manusia yang berkualitas.



TES FORMATIF 1 _____

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Fase perkembangan individu dimana telah dicapai susunan, bentuk dan struktur tubuh menyerupai induknya, tetapi perkembangan pemasakannya belum selesai, disebut
 - A. bayi
 - B. embrio
 - C. ontogeni
 - D. fetus

- 2) Cabang embriologi hewan yang mempelajari persamaan dan perbedaan pola struktur/gambaran embrio dari hewan yang berbeda spesies atau kelasnya, pada tingkatan umur yang sama, yang disebut embriologi perbandingan sangat besar artinya bagi
 - A. pencarian perkembangan embrional tertentu yang sulit
 - B. mengganti bagian-bagian embrio yang tidak lengkap
 - C. menginterpretasikan fase perkembangan embrional tertentu, yang bahannya langka
 - D. membantu mengisi kekosongan fase embrional tertentu karena sulit

- 3) Ilmuwan yang pertama kali memberi nama spermatozoon pada sel gamet laki-laki manusia, adalah
 - A. Malphigi
 - B. William Harvey
 - C. Von Baer
 - D. Antony Leuwenhook

- 4) William Harvey, dikenal dengan pepatah biologinya
 - A. “Omnis cellula a cellulae”
 - B. “Omne vivum ex ovo”
 - C. “Omne vivum e vivo”
 - D. “Ex ovo omnia”

- 5) Salah satu kegunaan mempelajari embriologi yang ada hubungannya dengan taksonomi hewan, ialah untuk
 - A. mencari ada tidaknya chorda dorsalis
 - B. mencari bentuk dan susunan larva
 - C. menentukan Chordata
 - D. melacak taksa suatu hewan.

Soal Nomor 6 sampai dengan Nomor 10, pilih A, B, C, atau D untuk menjawab soal pernyataan berikut!

- A. Jika pernyataan benar, alasan benar dan keduanya menunjukkan hubungan sebab akibat.
 - B. Jika pernyataan benar, alasan benar tetapi keduanya tidak menunjukkan sebab akibat.
 - C. Jika pernyataan benar, alasan salah atau sebaliknya pernyataan salah, alasan benar.
 - D. Jika baik pernyataan maupun alasan keduanya salah.
- 6) Fase embrio yang dimulai dari sel telur tunggal sampai dicapai bentuk dan susunan yang kompleks seperti induknya, adalah bagian dari ontogeni individu tersebut.

sebab

Ontogeni merupakan sejarah kehidupan individu yang utuh yang terjadi tanpa pembuahan.

- 7) Bidang spesialisasi embriologi perbandingan sangat besar artinya dalam melengkapi fase-fase perkembangan embrional manusia yang sulit dicari bahannya.

sebab

Hewan-hewan yang sama klasis atau familiarnya mempunyai pola kesamaan struktur embrio pada umur yang sama.

- 8) Telur amphibi, amphioxus dan manusia adalah telur yang tidak mengikuti teori mosaik Wilhelm Roux.

sebab

Dua atau empat blastomer pertama apabila dipisahkan secara sempurna dan masing-masing diberi kesempatan untuk tumbuh dan berkembang akan menjadi individu yang utuh seperti bila berasal dari satu telur yang utuh.

- 9) Embriologi dapat membantu mencari bukti-bukti untuk dugaan adanya evolusi seperti yang diajukan oleh Charles Darwin,

sebab

Haeckel telah mengajukan undang-undang biogenesisnya.

- 10) Teori preformasi terpecah menjadi dua aliran yaitu aliran ovulis dan animalkulis.

sebab

Hans dan Leuwenhook menemukan folikel Graff.

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2

Pertumbuhan dan Perkembangan Embrional serta Cara Mempelajarinya

Setelah mempelajari pengertian embriologi serta ruang lingkupnya, sekarang pokok bahasan kita akan difokuskan pada permasalahan tentang proses perkembangan embrio yang berasal dari satu sel telur tunggal menjadi suatu individu yang sangat kompleks, yang tersusun dari berbagai macam sel dan jaringan yang berhubungan secara erat satu dengan yang lain.

Secara lebih rinci, Kegiatan Belajar 2 ini akan membahas tentang proses pembelahan sel, dari satu sel menjadi banyak sel; kemudian dilanjutkan dengan ulasan tentang proses diferensiasi, dari sel-sel yang semula sama terdiferensiasi menjadi kelompok sel yang berbeda-beda. Masalah ini akan dibahas dalam sub pokok bahasan. Proses-proses dan Konsep pokok perkembangan, suatu sub pokok bahasan yang mempelajari tentang proses-proses utama perkembangan dan konsep utama perkembangan.

Dalam Kegiatan Belajar 2 ini juga akan diuraikan tentang cara-cara mempelajari embriologi, serta bahan apa yang dapat dipakai untuk keperluan tersebut. Ini penting untuk kemandirian Anda bila akan mempelajari embriologi. Namun, harus diingat bahwa di dalam melakukannya harus disesuaikan dengan keadaan dana, kelengkapan peralatan dan lingkungannya. Di samping itu, akan dijelaskan pula hubungan antara sifat-sifat yang diwarisi dan lingkungan yang dapat mempengaruhi hasil akhir suatu proses perkembangan individu. Manakah yang lebih penting, sifat yang diwariskan atau lingkungan, yang menentukan hasil akhir dari perkembangan individu? Atau kombinasi antara keduanya; kegunaan gambar-gambar yang dibuat dari penampakan embrio-embrio yang dipelajari, baik sebagai gambaran embrio utuh atau dalam bentuk irisan histologis dalam hubungannya dengan pengertian perkembangan embrio secara keseluruhan, cara menggambar proses-proses perkembangan embrional yang baik dan benar, cara memahami gambar-gambar secara terpisah dan secara terangkai dan kemampuan seseorang untuk menginterpretasikan gambar-gambar yang terangkai dalam mengkaji secara keseluruhan proses yang sebenarnya terjadi, dan penglokasian tempat atau kedudukan suatu struktur dalam tata letak sehubungan dengan embrio secara utuh.

A. PROSES-PROSES DAN KONSEP POKOK PERKEMBANGAN

1. Tumbuh adalah Suatu Faktor dalam Perkembangan

Hal ini menjadi jelas bila kita bandingkan besar telur manusia yang telah dibuahi, sebagai sel bulat yang berdiameter kurang lebih 0,15 mm, dengan besar tubuh manusia dewasa. Lebih-lebih bila kita perhatikan sel telur ikan Paus yang mempunyai ukuran yang sama dengan sel telur manusia tadi, kemudian akan tumbuh menjadi ikan Paus dewasa yang mempunyai berat beberapa ton.

Pertumbuhan dapat disebabkan oleh karena bertambah besarnya sel-sel yang menyusun tubuh individu dapat pula disebabkan karena bertambah besar jumlah sel-selnya. Mekanisme utama dalam berbagai pertumbuhan tadi adalah terjadinya sintesis protoplasma baru oleh protoplasma yang ada sebelumnya. Tetapi ada batas yang sangat definitif jumlah sintesis protoplasma baru tersebut, yaitu oleh kebutuhan untuk mengonduksi seluruh pertukaran metabolisme lewat lapisan permukaan membran sel yang semipermeabel. Dikarenakan volume bulatan telur bertambah sebagai kelipatan tiga jari-jari telur, sedang membran sel telur bertambah sebagai kelipatan dua jari-jari ($\text{volume} = m^3$, dinding telur sebagai luas = m^2), dengan demikian menjadi jelas bahwa pertambahan masa protoplasma sel telur yang bulat tadi tidak dapat terjadi secara leluasa karena metabolismenya dihambat oleh kurangnya permukaan yang diperlukan untuk pelaksanaannya. Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan penambahan luas dinding sel untuk menampung pertambahan volume protoplasma, yaitu dengan cara menambah unit sel. Hal ini hanya bisa dilakukan dengan menambah jumlah sel lewat pembelahan sel. Jadi pengulangan pembelahan sel merupakan suatu hal yang sangat diperlukan dalam pertumbuhan.

Material-material mentah yang dibutuhkan embrio untuk pertumbuhannya, pada umumnya sama seperti yang kita perlukan sehari-hari, yaitu; **protein, lemak, karbohidrat, vitamin, mineral, air dan pemasukan oksigen yang mencukupi.** Protein oleh kerja enzim, diuraikan menjadi asam-asam amino yang mudah larut dan dapat diangkut, yang kemudian akan disintesis kembali menjadi tipe-tipe protein tertentu yang dibutuhkan oleh sel. Lemak dan karbohidrat digunakan dalam bentuk kombinasi dengan oksigen untuk mendapatkan energi. Air yang menyusun lebih dari setengah besar total protoplasma, digunakan sebagai pelarut elektrolit yang diperlukan, juga sebagai bahan dasar cairan pengangkut seperti darah dan limfe.

Pada tingkat awal perkembangannya pemberian makanan pada embrio secara langsung atau secara tidak langsung tergantung dari induknya. Hubungan yang lebih primitif antara induk dan embrio, adalah berupa pemberian makanan secara tidak langsung; contohnya pada hewan-hewan yang bertelur seperti reptil dan burung. Perkembangan embrio di dalam cangkang pribadinya, tanpa kontak langsung dengan induknya, mengharuskan embrio menggunakan bahan-bahan makanan yang telah disediakan oleh induknya (biasanya dalam bentuk vitelus atau yolk atau lecith atau kuning telur). Seluruh komponen makanan yang diperlukan termasuk air, tersedia dalam vitelus, tetapi embrio harus mengubahnya menjadi bentuk-bentuk bahan yang dapat larut, dengan bantuan enzim-enzim yang dihasilkan oleh kantong vitelusnya sendiri. Sesudah itu bahan-bahan makanan tadi dapat lewat secara difusi, atau diangkut aliran darah menuju ke tempat-tempat yang sedang tumbuh dan membutuhkannya.

Embrio-embrio mamalia memiliki jalan yang lebih ekonomis pada proses-proses pengubahan makanan yang dibutuhkan di mana bahan makanan tersebut, sudah dalam bentuk yang mudah diangkut. Sebagai ganti penyerapan makanan dari vitelus seperti pada embrio ayam, ia menyerap langsung bahan makanannya dari darah induknya lewat dinding uterus. Sistem pencernaan induknya telah menyiapkan seluruh bahan makanan yang dibutuhkan dalam bentuk yang dapat larut, dan embrio hanya tinggal mengangkut zat-zat makanan tadi di dalam tubuhnya sendiri dan membangunnya menjadi protoplasma.

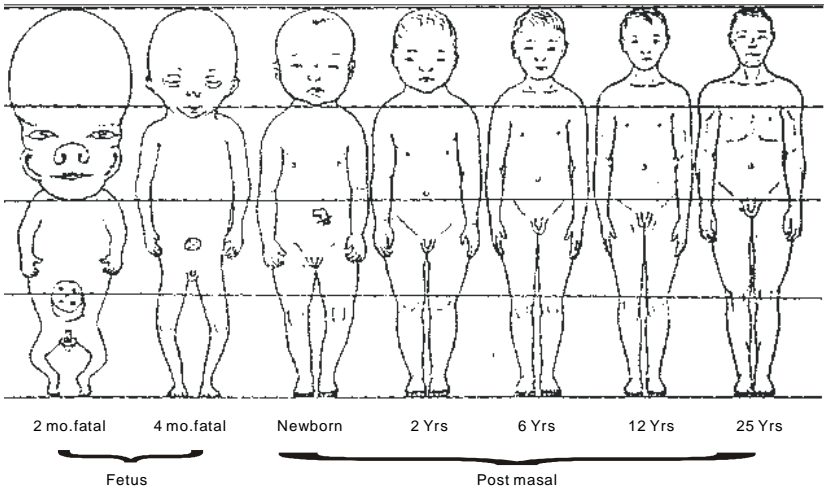
2. Tipe-tipe Pertumbuhan

Dalam membangun tubuh kita, diperlukan berbagai tipe jaringan yang berbeda satu dengan yang lain. Jaringan-jaringan ini berbeda sifat atau mungkin susunannya, sesuai dengan fungsinya. **Darah**, sebagai sistem pengangkut peredaran substansi organik, bentuknya cair. Sebaliknya **tulang**, yang berguna untuk pelindung sistem syaraf dan sistem hepar yang lemah dan sebagai tempat melekat otot, berbentuk sebagai jaringan yang keras dan kaku. Di antara kedua bentuk jaringan yang ekstrim ini, ada jaringan epitel, sebagai jaringan pokok, yang melapisi atau melindungi permukaan dan sebagai dinding rongga tubuh, dinding berbagai tipe otot, dinding jaringan syaraf dan jaringan ikat fibrosa, yang menyatukan dua macam atau lebih jaringan yang berbeda yang secara bersama-sama melakukan fungsi yang saling berhubungan.

Dengan tekstur jaringan yang berbeda ini, maka cara pertumbuhan mereka masing-masing juga berbeda. Pada jaringan-jaringan yang keseluruhannya tersusun dari sel, teristimewa bila sel-sel yang menyusunnya tidak terpakat padat, pertumbuhannya terjadi melalui **pertumbuhan interstitial**. Yaitu suatu pertumbuhan atau penambahan luas atau besar jaringan dengan melalui penambahan besar pada titik-titik yang tersebar di antara jaringan tadi, yang disebabkan sel-sel pada tempat atau titik tersebut melakukan pembelahan. Jumlah total penambahan sel yang terjadi akan tampak sebagai pertumbuhan tubuh embrio muda tersebut. Jaringan yang kaku dan keras seperti jaringan tulang, diperoleh karena adanya material sel yang diendapkan di luar selnya sendiri. Suatu material yang dihasilkan oleh sel-sel penyusun jaringan tulang sendiri, berupa garam-garam kalsium maupun garam fosfat, menyebabkan tidak ada lagi ruang di antara sel-sel penyusun jaringannya untuk memberi kemungkinan terjadinya penambahan sel di dekatnya atau dengan kata lain, jaringan semacam ini tidak dapat melakukan pertumbuhan secara interstitial. Jaringan semacam ini dapat bertambah besar atau luas dengan mendepositkan atau menambahkan suatu lapisan baru pada permukaan yang telah dibentuk lebih dulu. Pertumbuhan semacam ini disebut **pertumbuhan aposisi**, merupakan suatu tipe pertumbuhan khusus pada jaringan tulang dan jaringan yang kaku. Kejadian ini tidak dapat segera terukur dalam embrio sampai jaringan tadi menjadi sistem skelet.

a. Pertumbuhan Diferensial

Dari sifat jaringan dan cara pertumbuhannya yang berbeda-beda, maka kecil kemungkinan jaringan-jaringan tadi bertambah besar dalam kecepatan yang sama. Keadaan semacam ini dalam embriologi disebut **pertumbuhan diferensial**, yang mengandung pengertian **perbedaan kecepatan pertumbuhan jaringan yang sama macamnya pada tempat dan saat yang berbeda**. Salah satu kejadian yang menyolok yang terjadi pada embrio-embrio muda ialah pertumbuhan yang sangat cepat di daerah kepala, yang akan menyebabkan terbentuknya kepala yang besar atau ukurannya tidak seimbang pada embrio dan fetus. Selanjutnya ketika pertumbuhan pada daerah kepala menjadi relatif berkurang kecepataannya, dikatakan telah mencapai keadaan istirahat, dan dengan demikian terbentuklah keadaan keseimbangan pada dewasa (Gambar 1-3).



Gambar 1.3.

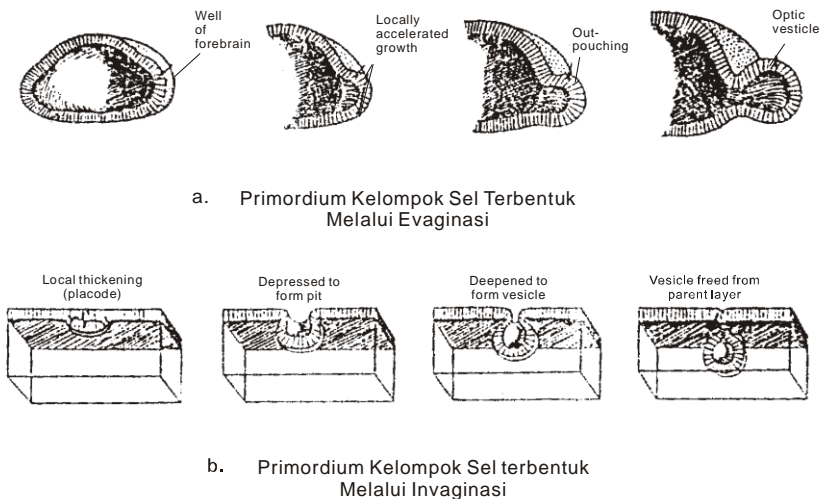
Dua tingkat fetus dan lima tingkat post natal digambar pada tinggi total yang sama untuk memperlihatkan perubahan-perubahan khusus umur pada proporsi berbagai bagian tubuh (Digambar kembali dari Scammon).

Pertumbuhan diferensial sering berhubungan dengan suatu fungsi. Sebagai contoh, pertumbuhan yang sangat cepat di bagian-bagian mesoderma yang membentuk jantung pada embrio muda, berhubungan dengan kebutuhan mekanisme pemompa untuk mengalirkan darah dan bahan-bahan makanan yang dikandungnya, sebelum bagian-bagian lain tubuh yang sedang tumbuh dapat mencukupi kebutuhannya.

Pertumbuhan diferensial dapat juga berubah secara radikal pada hubungan antara bagian-bagian yang sedang tumbuh. Pada saat nervus spinalis pertama-tama dibentuk, seluruhnya terjulur ke arah lateral di antara dua ruas tulang belakang yang berdekatan. Hubungan ini yang semula dipertahankan karena pertumbuhan korda spinalis dan kolumna spinalis seimbang satu dengan yang lain, pada bulan ketiga pertumbuhan fetus manusia, pertumbuhan kolumna spinalis bagian kaudal mulai lebih lambat dibanding korda spinalis. Hasilnya adalah, korda spinalis seolah-olah tergelincir ke arah kepala di dalam kanalis spinalis dan dengan kejadian ini nervus spinalis pada daerah sakral, tertarik bersama-sama ke arah kepala juga, sehingga tampak seperti rambut-rambut pada ekor kuda. Inilah sebabnya dalam anatomi nervus spinalis pada daerah sakral manusia ini dikatakan menyusun "**cauda equina**" (cauda = ekor; equina, dari kata equus = kuda). Contoh-contoh ini dapat membantu untuk memperlihatkan dengan lebih sederhana pertumbuhan diferensial.

1) Diferensiasi

Sel-sel baru yang dibentuk pada proses pertumbuhan awal embrio, tidak akan sama terus bentuknya dan juga tidak selalu tidak teratur selamanya. Segera setelah rangkaian pembelahan yang cepat terjadi, yang disebut dengan **pembelahan cleavage** atau **pembelahan segmentasi**, sel-sel hasil pembelahan tadi mulai menyusun dirinya menjadi tiga lapisan sel, yang disebut **lapisan germinal primer**. Tiap lapisan sel diberi nama yang didasarkan atas posisi relatifnya pada embrio, lapisan yang paling luar disebut **ektoderma** dan lapisan yang paling dalam disebut **entoderma** atau **endoderma** dan lapisan sel yang berada di antara ekto dan entoderma, disebut **mesoderma**. Selanjutnya sel-sel di dalam tiap lapisan segera tersusun kembali dalam kelompok-kelompok baru untuk membentuk berbagai primordia masa sel, sebagai calon pembentuk organ-organ yang akan terbentuk. Beberapa cara kelompok-kelompok sel dipisahkan dari lapisan germinal induknya, disajikan pada diagram Gambar 1.4.



Gambar 1.4.

Diagram yang menggambarkan beberapa cara yang berbeda, proses timbulnya kelompok sel-sel primordia dari lapisan induknya.

Ada tiga macam cara pemisahan kelompok sel dari lapisan germinalis induknya, seperti yang tertera pada Gambar 1-4, yaitu **invaginasi**, **evaginasi** dan **migrasi**.

a) Invaginasi

Merupakan suatu proses pemisahan kelompok sel dari sel induknya dengan cara melekok ke dalam lapisan sel semula yang kemudian diakhiri dengan pemisahan lekukan sel tadi dari lapisan asalnya. Pada daerah di mana akan terjadi kelompok sel baru, pertama-tama ditandai adanya penebalan yang disebabkan adanya pembelahan atau proliferasi sel di daerah tadi. Pembelahan sel pada daerah penebalan tersebut terus berlangsung, dan menyebabkan sel-sel pada daerah penebalan menjadi terdorong ke arah dalam dari lapisan permukaan, sehingga terbentuk suatu lekukan. Lekukan menjadi semakin dalam dan menjadi berbentuk bulat. Pada tahap berikutnya sel-sel tepi lekukan pada permukaan lapisan induk akan saling bertemu dan berfusi, dan diakhiri dengan terpisahnya lekukan dari lapisan sel semula, dan mereka membentuk kelompok sel yang baru. Salah satu contoh invaginasi adalah terbentuknya tabung syaraf (neural tube) dari lapisan ektoderma superfisial.

b) Evaginasi

Merupakan suatu proses pemisahan kelompok sel dari sel induknya dengan cara menjadi melekok ke luar lapisan sel semula. Rangkaian peristiwa yang terjadi dalam evaginasi pada prinsipnya sama dengan invaginasi, hanya saja kalau invaginasi pelekukan sel induk ke arah dalam, evaginasi pelekukan ke arah luar lapisan semula. Evaginasi kebanyakan terjadi pada lapisan sel sebelah dalam. Salah satu contoh proses evaginasi adalah terbentuknya vesikula optika dari dinding ventro lateral diensephalon.

c) Migrasi

Suatu proses pemisahan atau pembentukan kelompok sel baru dengan cara berpindahnya atau bermigrasinya sel dari lapisan induk ke berbagai bagian tubuh yang lain, pada tempat di mana nanti pada daerah tersebut akan terbentuk jaringan atau organ yang diderivatkan darinya. Migrasi dimulai dengan terjadinya proliferasi (pembelahan sel lokal dan cepat) sel pada lapisan induknya. Sel-sel hasil proliferasi tadi melepaskan diri dari lapisan induknya, berubah menjadi sel-sel yang mampu berpindah tempat atau bermigrasi, kemudian pada daerah yang lain mereka berkumpul atau beragregasi untuk membentuk kelompok sel yang baru di sana. Sel-sel yang dapat bermigrasi pada umumnya adalah sel-sel dari

lapisan mesoderma, yang pada saatnya menjadi sel yang bebas dan bermigrasi dan disebut dengan **mesenkhim**. Salah satu contoh proses migrasi, adalah terbentuknya vertebrae dari sel-sel mesenkhim yang dibebaskan dari lapisan mesoderma dorsalis.

Pengelompokan kembali sel-sel yang sama jenisnya terjadi sesudah ditetapkannya gambaran luar embrio seperti orang tuanya. Migrasi dan pengelompokan sel yang awal ini akan menetapkan bentuk umum embrio dan meletakkan dasar sistem-sistem organnya. Proses ini disebut **morfogenesis**.

Fase selanjutnya setelah morfogenesis terjadi, sel-sel yang telah dikelompokkan dan membentuk primordia atau calon organ atau jaringan khusus, dimulailah diferensiasi yang akan menghasilkan gambaran yang khusus dan membentuk hasil yang khusus pula. Sel-sel yang akan menjadi elemen-elemen otot membentuk fibril-fibril kontraktile. Sel-sel lain yang akan menjadi penghasil enzim membentuk granula-granula prosekresi di dalam protoplasmanya. Sedangkan sel-sel yang ditugaskan untuk membentuk kerangka tubuh, mulai mengendapkan garam-garam kalsium sebagai matrik tulang muda. Fase diferensiasi dimana jaringan-jaringan yang menyusun tubuh membentuk sifat-sifat khususnya, disebut **histogenesis**. Apabila morfogenesis, yang bersumber dari morfik (bentuk) sebagai proses-proses dalam perkembangan embrio yang khusus mengelompok-kelompokkan sel-sel dalam bentuk jaringan-jaringan atau organ dalam usaha menyusun bentuk atau gambaran embrio baik bentuk dalam maupun bentuk luar sehingga embrio menjadi mirip dengan orang tuanya, maka disebut fase histogenesis. Histogenesis sebagai proses penyempurnaan dari bentuk-bentuk yang sudah diperoleh pada saat peristiwa morfogenesis berlangsung, sehingga jaringan atau organ yang terbentuk tadi memperoleh bentuk dan susunan karakteristiknya sesuai dengan fungsinya nanti.

2) Integrasi

Kata integrasi mempunyai arti yang begitu luas, namun yang dimaksud dengan integrasi dalam pengertian embriologi, adalah proses di mana jaringan-jaringan yang berbeda bergabung bersama-sama untuk membentuk suatu organ. Sebagai contoh, mata. Ia tersusun dari berbagai bagian, retina, lensa mata, jaringan ikat fibrosa pembungkus mata, otot-otot penggerak mata, pembuluh-pembuluh darah penyalur nutrisi mata dan serabut-serabut syaraf yang menginervasinya. **Retina**, yang tersusun dari sel-sel yang sensitif

terhadap cahaya, berasal dari **ektoderma**. Mereka berasal dari daerah optik yang terjadi melalui proses pelipatan ke dalam (invaginasi) dinding vesikula optika. Vesikula optika berasal dari pelelukan ke luar (evaginasi) dinding pipa syaraf (dinding ventro lateral diensephalon). Bagian vesikula optika yang kemudian menyempit dan terdapat di antara vesikula optik dan dinding diensephalon, tangkai optik. Vesikula optika tadi pada ujung depan dindingnya melekok ke dalam sehingga bangunan yang semula berbentuk vesikula atau gelembung yang hanya memiliki satu dinding menjadi mangkok (mangkok optik) yang ber dinding dua lapis. Dinding lapisan dalam inilah yang nanti akan menjadi retina. **Lensa mata**, terbentuk saat berikutnya, berasal dari **sel-sel ektoderma** permukaan yang berada di depan bagian yang terbuka mangkok optik. Sedangkan bagian **bungkus mata**, yang tersusun dari jaringan ikat fibrosa, berasal dari **sel-sel mesenkhim**. **Otot-otot yang menggerakkan bola mata** berasal dari kelompok **sel-sel mesoderma khusus**, dan **pembuluh-pembuluh darah** sebagai jalan darah dari dan ke mata, terbentuk dari sel-sel mesenkhim yang disebut **angioblast**. Datang dan munculnya seluruh kelompok sel ini terjadi pada saat dan tempat yang tepat, melalui pengawasan hubungan letak antara satu terhadap yang lain, serta melalui pengaturan perubahan-perubahan histogenesisnya dan pengaturan aktivitas fungsinya; pengawasan seluruh peristiwa seperti pembentukan mata tadi yang komponen sel-sel pembentuknya berasal dari berbagai sumber sehingga terbentuk organ yang sempurna dan yang dapat melakukan fungsinya secara efektif dalam tubuh, disebut **integrasi**.

Perlu diketahui bahwa seluruh peristiwa integrasi untuk pembentukan suatu organ harus terjadi dalam urutan-urutan yang benar, tidak boleh terbalik atau berubah sedikitpun dan terjadi dalam waktu yang tepat dan tidak boleh tertunda barang sedetikpun. Sedikit saja terjadi penyimpangan dan sedikit saja terjadi penundaan, maka berarti kecacatan yang akan diperoleh. Sifat dan jalannya pengontrolan faktor-faktor tadi untuk bagian-perbagian, merupakan tantangan embriologi eksperimen. Contoh lain peristiwa integrasi ini, terjadi pada pembentukan gigi. Gigi yang tersusun dari komponen email, tulang gigi, sumsum gigi, pembuluh darah dan syaraf, mereka masing-masing bersumber dari sel-sel yang berbeda, yang secara bersama-sama secara terintegrasi membentuk gigi.

3. Faktor-faktor Heriditas dan Lingkungan

Heriditas (faktor keturunan atau faktor yang diwariskan) dan lingkungan, sangat penting dalam perkembangan, tetapi cara mempengaruhinya berbeda. Heriditas menetapkan keadaan fisik dan potensial daya pikir individu, sedang lingkungan menentukan seberapa jauh suatu individu dapat mencapai realisasi yang ia warisi. Sebagai contoh lingkungan sesudah kelahiran, seorang anak laki-laki mempunyai hereditas dengan fisik dan kemampuan

koordinasi yang sangat baik. Sebagai suatu hereditas yang memungkinkan ia dapat tumbuh menjadi seorang atlet yang akan mampu meraih medali emas di Olimpiade. Prestasi itu dapat dicapai jika ia hidup dalam lingkungan olah raga yang baik dan didukung oleh nutrisi yang baik, habitat yang sehat, dan semangat yang tinggi, serta ketersediaan pelatih yang baik. Seorang anak laki-laki lain dengan hereditas sama, atau mungkin kembar identik dari anak tadi, tetapi tidak memperoleh nutrisi dan fasilitas kesehatan yang baik, serta fasilitas latihan minim, maka ia akan dihalangi oleh lingkungan untuk menampakkan potensial penuhnya.

Keadaan yang serupa sehubungan dengan kemampuan daya pikir, misalnya suatu lingkungan yang menyediakan pendidikan yang mencukupi, tersedia cukup makanan yang berkualitas, tersedia tempat pelatihan yang memadai, tersedia suasana belajar yang mendukung, tenaga pendidik yang baik, semuanya diperlukan untuk perkembangan kapasitas intelektual yang diwarisi dari nenek moyangnya. Umumnya, tidak dikenal adanya sekelompok lingkungan yang istimewa dapat menyebabkan suatu individu (seseorang) melewati batas hereditas yang dibawanya. Sebagai contoh, seekor ayam yang secara hereditas mempunyai kemampuan untuk bertelur sebutir telur per hari, meskipun diberi pakan yang istimewa kualitasnya, dipelihara dalam lingkungan yang begitu menyenangkan baginya, tetap tidak bisa diharapkan untuk bertelur dua butir sehari. Perawatan yang baik hanya mendorong ke arah optimalisasi penampakan hereditas yang diwarisinya. Jadi lingkungan hanya dapat **membantu** atau **merintang** **penampakan hereditas, tetapi tidak dapat mencipta**.

Lingkungan dari sudut biologi lebih besar artinya dibanding lingkungan dari titik pandangan sosial seperti fisik dan pendidikan mental. Dalam biologi ada lingkungan prenatal, yang disediakan oleh induk pada kehidupan di dalam rahim. Sel telur yang dibuahi memiliki potensial hereditas yang ditetapkan oleh kualitas sel kelamin yang bersatu pada saat dibentuk. Demikian ia mulai tumbuh, ia terpaksa dihadapkan pada macam keadaan kesehatan hidup induknya yang tersedia dalam rahimnya yang hamil. Tetapi di sini lingkungan dalam kandungan, hanya dapat membantu atau menjadi tidak membantu, potensialitas yang diterima melalui hereditas.

Di dalam tubuh embrio yang sedang berkembang sendiri, ada faktor-faktor lingkungan tersendiri. Masing-masing organ yang sedang tumbuh, dipengaruhi oleh organ-organ lain yang ada di sekitarnya. Bila suatu mangkuk optik gagal tumbuh merapat pada ektoderma permukaan di depannya pada saat yang tepat, tidak akan terbentuk lensa mata pada mata tadi. Bila pembuluh darah gagal menyesuaikan langkah pertumbuhannya dengan pertumbuhan organ yang harus diberi darah darinya. Organ tadi akan kurang baik atau bahkan gagal pertumbuhannya. Antara sel-sel yang saling bertetangga atau saling berdekatan ada saling pengaruh mempengaruhi untuk

terjadi atau terselesaikannya proses diferensiasi akhir dari sel-sel atau kelompok sel tersebut.

Walaupun lingkungan tidak dapat mengubah pola dasar hereditas pada generasi yang ada, tetapi mungkin dalam suatu lingkungan tertentu yang sangat khusus, mampu mempengaruhi sel-sel germinal sehingga mengubah hereditas yang disusun keturunannya. Untungnya, hal-hal yang dapat memberikan pengaruh buruk pada tubuh tidak mempengaruhi sel-sel germinal. Karena sel germinal telah dipisahkan sebelum sel-sel somatis penyusun tubuh terdiferensiasi menjadi jaringan dan organ yang spesifik. Tetapi ada eksperimen yang dilakukan pada hewan laboratorium seperti tikus rumah (*Ratus-ratus*) dan mencit (*Mus musculus*), yang memperlihatkan adanya kemungkinan untuk mengubah susunan gen kromosom sel-sel kelamin. Sehingga gen-gen pada sel kelamin mengalami mutasi. Eksperimen dilaksanakan dengan memberikan perlakuan keras, seperti dengan meradiasi gonad. Seperti mutasi yang lain, mutasi yang dihasilkan melalui eksperimen ini diturunkan. Sayangnya, bahwa hasil-hasil mutasi yang diperoleh dengan cara seperti tadi, cenderung menjadi tipe-tipe yang tidak menguntungkan, di mana terjadi perkembangan beberapa bagian tubuh yang tidak sempurna.

Selain itu ada juga keadaan di mana hereditas dan lingkungan saling mempengaruhi. Contoh yang paling menarik untuk peristiwa ini adalah hasil karya Frazer dan kawan-kawannya. Ia menemukan bahwa, pemberian makanan dengan **dosis kortison tinggi** pada betina-betina **mencit hamil** yang mempunyai strain genetik tertentu, menyebabkan 100% dari keturunannya **bercelah palatum** (cacat tidak bersatunya atap mulut). Perlakuan yang sama diberikan pada betina dengan strain genetik yang berbeda, hanya 17% keturunannya mempunyai celah palatum. Bila eksperimen yang sama dilakukan pada betina dari hasil perkawinan kedua macam strain tadi, maka 40% lebih dari keturunannya memiliki celah palatum. Dari hasil ini dapat dilihat, bahwa dengan mengawinkan dua strain yang memiliki kepekaan berbeda terhadap kortison, khususnya tentang kemampuan pertumbuhan palatum, didapatkan strain baru yang memiliki kepekaan kombinasi antara yang terlalu peka dengan yang kurang peka. Sehingga ketika strain hasil perkawinan tadi diberi kortison, kepekaannya menurun bila dibandingkan kedua orang tuanya.

Untuk mengikuti hasil yang dramatis ini, ia mempelajari kecepatan pertumbuhan lempeng palatum pada embrio dari strain dengan celah palatum yang persentasenya besar dibanding embrio dari strain dengan celah palatum persentase kecil. Strain dengan persentase celah palatum besar memperlihatkan pertumbuhan lempeng palatum yang lambat. Embrio dari strain ini tidak memiliki energi pertumbuhan yang cukup untuk mempertemukan dan menyatukan kedua lempeng palatum tadi. Sedangkan strain dengan persentase celah palatum kecil memperlihatkan kecepatan

pertumbuhan lempeng palatum yang tinggi. Dengan perkataan lain, ada cukup sediaan tenaga dalam perkembangannya, sehingga lebih dari 80% lempeng tadi akan bertemu dan bersatu, meskipun ia diberi gangguan dengan pemberian kortison pada strain yang lain menyebabkan 100% palatumnya tidak mampu bertemu ataupun bersatu. Dengan demikian dalam peristiwa ini baik **hereditas** (kecepatan pertumbuhan lempeng palatum dan ketersediaan energi untuk pertumbuhan lempeng palatum) maupun **lingkungan** (pemberian kortison, senyawa yang memperlambat pertumbuhan) dapat dikatakan kedua-duanya sebagai penyebab terjadinya cacat (**kelainan**). Interaksi antara kedua faktor penentu tadi menentukan tingkat keadaan yang mudah dipengaruhi olehnya.

B. BAHAN DAN CARA MEMPELAJARI EMBRIOLOGI

Mempelajari embriologi, berarti mempelajari suatu proses perkembangan awal individu sejak sel telur dibuahi, kemudian dilanjutkan dengan pembelahan segmentasinya yang berulang-ulang sehingga diperoleh jumlah tertentu sel hasil pembelahan tersebut. Sel-sel hasil pembelahan tadi selain masih terus melakukan pembelahannya, ia mulai mengelompokkan dirinya ke dalam kelompok-kelompok sel yang menjadi sel germinal primer. Proses pengelompokan ini kemudian disebut diferensiasi sel embrional pertama kali, karena masing-masing kelompok sel (dalam fase ini dalam bentuk lapisan sel yang menyusun tubuh embrio), telah memiliki sifat dan bentuk meskipun tidak tampak oleh mata, serta mengandung material penentu pertumbuhan yang berbeda. Selanjutnya dari masing-masing kelompok sel akan tersusun berbagai kelompok sel turunannya, yang akhirnya membentuk jaringan dan organ embrional dalam usahanya menyusun tubuh embrio yang utuh dan lengkap dalam bentuk dan susunan seperti orang tuanya. Oleh karenanya tidak dapat dipungkiri bahwa untuk maksud ini kita harus belajar di dalam laboratorium.

1. Kegunaan Belajar di Laboratorium

Apapun maksud dan jangkauan pelajaran embriologi, harus disertai pengamatan di laboratorium dari bahan-bahan yang sebenarnya. Di dalam laboratorium, dengan petunjuk yang cermat dan berdaya pacu, siswa dapat berubah dari sekedar penerima informasi yang pasif menjadi pengamat yang aktif. Mempelajari embrio tanpa mengamati irisan yang berurutan embrio-embrio muda dan tanpa membuat irisan-irisan embrio-embrio pada tingkat lebih tua atau lebih besar adalah tidak mungkin atau sesuatu yang sia-sia, seperti halnya mempelajari dan memperbaiki mesin mobil tanpa pernah membongkar dan memasang kembali bagian-bagian dalam mesin tersebut.

Yang kita pelajari dalam embriologi adalah pertumbuhan atau pembentukan struktur-struktur yang menyusun tubuh suatu individu serta dari mana dan bagaimana struktur itu terbentuk dan lebih lengkapnya kapan mereka mulai dibentuk dan kapan selesainya, semuanya itu dihitung sejak terjadinya pembuahan. Oleh karenanya, peserta didik harus mengetahui benar atau memahami susunan anatomi serta susunan histologis jaringan dari individu yang akan dipelajari, sehingga mudah bagi mereka untuk mengenalnya kembali ketika harus mengamatinya di bawah mikroskop.

2. Pemilihan Bahan-bahan Laboratorium

Dalam memilih bahan-bahan yang akan dipakai sebagai dasar belajar di laboratorium, ada tiga permasalahan yang harus diperhatikan yaitu:

Pertama, pemilihan bentuk-bentuk yang akan digunakan. Harus dipilih dengan seksama bentuk-bentuk yang sesuai dengan proses-proses perkembangan yang akan diterangkan.

Kedua, bentuk-bentuk yang dipilih, perkembangan embrionalnya telah diketahui dengan baik. Sebagai bahan yang akan dipergunakan untuk dipelajari, pilih saja bentuk-bentuk atau embrio-embrio dari hewan yang telah dipelajari dengan baik.

Ketiga, bahan-bahan tersedia jumlahnya mencukupi, sehingga setiap mahasiswa dapat memperoleh bahan yang cukup.

Untuk mempelajari perkembangan tingkat awal, tidak mungkin hanya bersumber pada satu bahan yang menyendiri atau tunggal, karena tidak mungkin bahan yang demikian dapat menyediakan dasar-dasar yang mencukupi. Selain menarik dan ada hubungan langsung dengan kepentingan kita, dalam mempelajari gametogenesis lebih cocok digunakan bahan dari manusia, dan bahan ini mudah dicari. Bahan dari amphibia sangat cocok untuk mempelajari pembelahan segmentasi dan pembentukan lapisan lembaga, ekto, ento dan mesoderma. Kandungan vitelus pada telur amphibi, cukup untuk memperlihatkan bagaimana **vitelus** dapat mempengaruhi mekanisme pembelahan **segmentasi** dan **gastrulasi** dan jumlah vitelus pada telur amphibi, belum terlalu banyak, sehingga tidak terlalu membuat bingung sifat proses segmentasi dan gastrulasi tersebut. Telur-telur amphibi yang diperlukan dapat dicari di alam sekitar kita, terutama pada daerah persawahan dan daerah yang memiliki kolam-kolam untuk usaha perikanan, setidak-tidaknya di musim penghujan. Telur-telur yang hidup dapat diamati perkembangannya dengan menggunakan kaca pembesar atau loop. Hal yang dapat diamati yaitu pembelahan segmentasi, morulasi, blastulasi, gastrulasi, pembentukan blastoporus, yolk plug (sumbat yolk), pertunasan ekor, insang

eksternal, insang internal, pertunasan anggota tubuh (membra) belakang dan pertunasan anggota tubuh (membra) depan, penyusutan panjang ekor dan sebagainya. Pengamatan pertumbuhan dan perkembangan sistem organ hanya dapat dipelajari lewat irisan-irisan melalui prosedur histologis, dan ini harus dipelajari di dalam laboratorium. Tetapi dengan menggunakan telur katak hidup dan dengan menggunakan kaca pembesar (loop), proses segmentasi awal, morulasi, perubahan blastoporus, pembentukan tunas ekor, dan metamorfosis, yang meliputi penggantian insang eksternal menjadi insang internal dan pertumbuhan kaki depan dan kaki belakang serta penghilangan ekor dapat diamati langsung.

Pembentukan tubuh embrio dan penyusunan sistem-sistem organ dalam, serta bentuk primordia yang sederhana lebih baik dipelajari lewat embrio ayam dibanding bahan lain. Seperti halnya embrio amphibi, embrio ayam dapat dengan mudah diperoleh sesuai dengan kebutuhan. Untuk penginkubasiannya (pengeramannya), bila tidak ada inkubator atau mesin penetas, dapat juga dengan dierami oleh induk ayamnya sendiri atau barangkali dapat ditumpangkan pada induk ayam tetangga yang sedang mengerami telur, asalkan diberi tanda sehingga tidak tertukar dan diberi label pewaktuannya sehingga penahapan perkembangannya dapat menjadi jelas. Seperti halnya embrio amphibi, embrio ayam yang dapat dipelajari di luar laboratorium adalah preparat utuh atau **wholemout**. Ada kesulitan untuk memperoleh proses segmentasi awal pada embrio ayam, dibutuhkan pengalaman dan kecermatan khusus untuk memperoleh atau membuat sediaan pembelahan segmentasi awal embrio ayam. Bagi mereka yang belum berpengalaman, hanya akan berhasil memperoleh embrio pada tingkat perkembangan sesudah 36 atau 28 jam, pada saat embrio sudah membentuk jantung yang berdenyut. Pengamatan preparat (sediaan) irisan hanya dapat dilakukan di dalam laboratorium. Embrio ayam melakukan proses perkembangan awalnya dalam suatu cara yang berurutan dengan baik, sehingga mudah diperagakan dan diikuti. Selain itu perlu diketahui pula bahwa, tingkat-tingkat perkembangan awal seperti yang diperlihatkan oleh embrio ayam tadi, sulit diperagakan dengan embrio mamalia.

Untuk mempelajari perkembangan berbagai sistem organ, embrio mamalia adalah contoh menarik. Dalam beberapa hal, bahan dari manusia sebenarnya contoh lebih mengagumkan, tetapi embrio manusia pada tingkat-tingkat awal perkembangan (pada saat berbagai sistem organ sedang tersusun), jumlahnya masih kurang mencukupi, meskipun di fakultas kedokteran sekalipun. Perlu diingat bahwa dalam tingkat-tingkat awal perkembangannya, seluruh mamalia tingkat tinggi pada dasarnya sama. Memang ada kekhususan dari bentuknya, tetapi kekhususan tadi akan timbul secara perlahan-lahan dan biasanya baru muncul pada akhir tingkat

perkembangan. Oleh karena itu dipergunakan embrio-embrio mamalia muda yang lain, sebagai ganti dalam mempelajari proses-proses yang terjadi pada perkembangan tingkat awal embrio manusia, yang kebetulan sampelnnya belum ada. Untuk hal tersebut Anda sulit belajar sendiri di luar laboratorium, kemungkinan bisa ditempuh dengan berhubungan melalui tempat-tempat pemotongan hewan untuk mencari embrio-embrio yang secara kebetulan mungkin ada di dalam hewan-hewan yang dipotong. Untuk itu selain diperlukan ketekunan dan kesabaran, juga diperlukan pengetahuan khusus tentang anatomi reproduksi hewan yang dipotong, harus mengenal uterus dan juga letak uterus pada hewan tersebut. Dengan pengetahuan ini, selain dapat dengan mudah mengenalinya juga tidak akan mengganggu kerja si pekerja pemotongan hewan. Dapat juga siswa dengan memelihara kelinci, marmot (**guinea pig**) atau ratus (tikus).

Salah satu mamalia yang mungkin untuk pengamatan laboratorium selain kelinci, marmut adalah babi. Alasannya, karena embrio babi cukup banyak dijumpai dan mudah diperoleh secara lengkap untuk memenuhi keperluan siswa satu kelas. Embrio-embrio yang lebih tua, yang terlalu besar untuk pengirisan histologis, dapat dilakukan dengan pengirisan kasar (merupakan suatu cara pengamatan yang tidak mungkin dilakukan pada embrio-embrio dari hewan yang ukurannya lebih kecil) dan ini sangat penting untuk menghubungkan embriologi dengan anatomi hewan dewasa. Selain itu, babi telah menjadi sumber berbagai penelitian embriologi yang penting. Informasi yang dikumpulkan dari penelitian-penelitian tadi membuka suatu bidang pengkajian yang sama luasnya baik bagi pengajar maupun siswa.

Tingkat perkembangan embrio manusia pada tingkat yang lebih lanjut, cukup banyak tersedia. Oleh karenanya untuk mempelajari beberapa fase lanjutan organogenesis embrio manusia sangat memungkinkan, dan memang gambaran organ-organ embrio manusia lebih mudah dipelajari dibanding organ-organ mamalia yang lainnya.

3. Cara Mempelajari Embriologi

Seperti ilmu-ilmu yang lain, embriologi menuntut pengamatan yang teliti. Tetapi pengamatan embriologi berbeda dengan pengamatan anatomi hewan dewasa. Dalam anatomi hewan dewasa, masalah yang dipelajari relatif konstan dan bagian-bagian komponennya tidak menjadi pokok perhatian. Sedang pada perkembangan embrional, keadaan struktur di dalam embrio secara terus menerus berubah. Tiap fase perkembangan memperlihatkan suatu keadaan yang kompleks dan merupakan suatu masalah yang baru pula.

Untuk memahami embriologi suatu organisme, seseorang harus memulai dengan perkembangannya dan mengikuti perubahan-perubahan yang terjadi sebenarnya. Pada pengamatan awal, Anda harus sadar benar-benar

pentingnya dilakukan pengurutan pengamatan yang baik, artinya dalam proses pengurutan pengamatan perkembangan embrional tidak boleh ada yang dikesampingkan. Pengetahuan keadaan struktur pada tingkat awal, kemudian struktur yang sedang dipelajari, serta proses perkembangan yang merubah keadaan pada suatu tingkat menjadi berbeda pada tingkat berikutnya, merupakan faktor-faktor yang diperlukan untuk memahami permasalahan embriologi. Tanpa itu semua, peristiwa urut-urutan embriologi menjadi membingungkan.

Pengetahuan fenomena perkembangan biasanya diperoleh melalui pengamatan suatu seri embrio pada berbagai tingkat yang saling berhubungan. Tiap tingkat tidak perlu dipelajari terlalu mendalam tetapi yang penting dicari tanda-tanda pada tingkat tadi yang dapat menghasilkan rangkaian perkembangan.

Untuk memahami betul arti suatu struktur dalam embriologi, kita harus mengetahui tidak hanya sekedar hubungan struktur di dalam embrio yang sedang dipelajari, tetapi juga harus mengetahui peristiwa dari mana struktur tadi diderivatkan dan perubahan-perubahan yang dilalui untuk berkembang ke arah keadaan dewasa. Untuk mendapatkan urut-urutan peristiwa perkembangan yang sempurna dan utuh, kita harus mempelajari serangkaian (suatu seri) embrio yang agak rinci. Tahapan-tahapan dasar dalam peristiwa perkembangan hanya akan dapat dipahami dari seri embrio yang tidak terlalu panjang, dan menghindari terjadinya penyimpangan dengan diperkecilnya seri embrio yang dipelajari. Kita harus berpegang teguh pada adanya kesinambungan atau saling keterkaitan proses-proses perkembangan tadi, dan mencermati perubahan-perubahan yang terjadi.

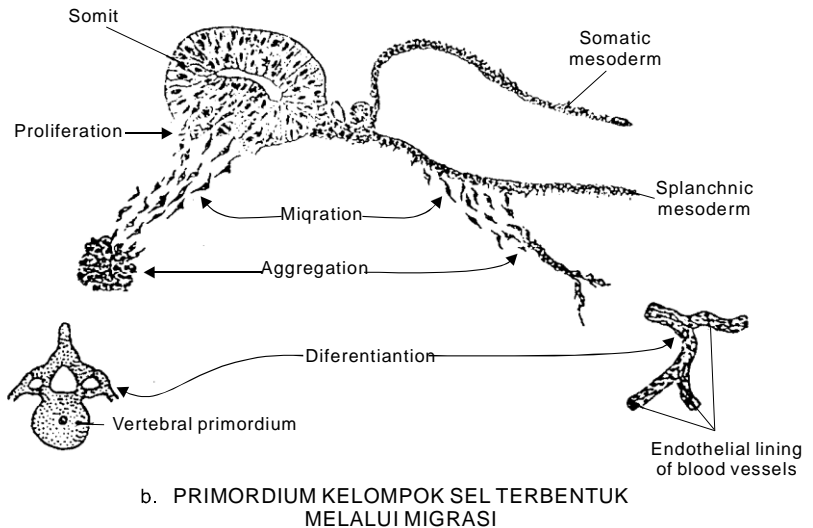
Sebagai contoh, proses perkembangan pada saluran pencernaan. Untuk mengetahui dari mana asalnya atau dari lapisan germinal primer mana ia diderivatkan, maka kita harus membatasi pengamatan embrio katak. Misalnya dari periode perkembangan fase gastrula awal sampai sebelum perut primitiva mengalami diferensiasi lanjut, sementara bila ingin kita ketahui proses perkembangan saluran pencernaan hingga terjadinya pankreas dan hati, maka yang kita amati fase-fase perkembangan sesudah diferensiasi perut primitiva terjadi ke tingkat selanjutnya. Tetapi kita harus selalu berpegang bahwa, diferensiasi lanjut tidak akan terjadi dan berjalan tanpa adanya diferensiasi awal entoderma menjadi perut primitiva. Pembentukan hati dan pankreas ataupun derivat-derivat perut primitiva yang lain, pada awalnya dimulai dengan munculnya divertikulum-divertikulum dinding perut primitiva yang timbul pada tempat-tempat tertentu dan pada waktu perkembangan tertentu. Jadi untuk bisa muncul dan tumbuh mereka harus ada dulu perut primitiva.

Dalam irisan bahan-bahan yang besar atau bahan yang berasal dari individu dewasa, tidak begitu sukar untuk memahami hubungan yang

sempurna di dalam suatu struktur. Tetapi sifat dari bahan pengamatan embriologi, memperkenalkan masalah-masalah baru yang sering begitu rumit dan tidak mudah untuk dimengerti tanpa mempelajarinya. Embrio-embrio pada umur di mana berbagai sistem organ sedang disusun dan proses pembentukan tubuh sedang dimulai, sangat kecil kemungkinannya untuk dilakukan pengirisan yang baik. Sehingga untuk pengamatan mikroskopis embrio utuh kurang memuaskan, kecuali untuk pengamatan susunannya yang lebih umum. Pada embrio yang sangat kecil dan terlalu lunak sulit untuk dipegang dan diiris bahkan dapat hancur. Untuk mempelajari embrio pada tingkat perkembangan dengan seksama, maka embrio-embrio tadi harus diiris menjadi irisan-irisan yang cukup tipis (dengan menggunakan metode mikroteknik tertentu, melalui fiksasi, dehidrasi, pemblokkan dengan parafin, pengirisan dengan mikrotom, dan pewarnaan). Hal ini dimaksudkan agar memungkinkan digunakannya mikroskop secara efektif untuk mengetahui susunan selnya dan hubungan antar struktur yang lebih rinci. Dalam menyiapkan bahan tadi embrio utuh diiris-iris menjadi irisan-irisan yang diletakkan pada gelas obyek sesuai dengan urutan irisannya.

Setelah irisan tersedia, terlihat gambaran atau keterangan tentang daerah lokal embrio. Karena kita masih sulit untuk merekonstruksi di luar kepala (dalam angan-angan) gambaran organisme yang utuh atau gambaran organisme secara keseluruhan dari hasil pengamatan irisan saja, untuk ini diperlukan suatu sediaan embrio yang dibuat transparan (tembus cahaya) dengan metode pewarnaan transparansi, yaitu dengan merendam embrio yang serupa (embrio yang umurnya atau tingkat perkembangannya sama) di dalam larutan NaOH (Natrium Hidroksida) selama kurang lebih 24 jam, atau sampai terlihat embrio menjadi tembus cahaya dan bening. Hasil pengamatan ini memberi kemungkinan kepada kita untuk membuat peta atau skema gambaran tubuh embrio dan membuat peta keadaan atau ukuran luas misalnya organ-organ internal yang lebih nyata atau yang sebenarnya. Dalam melakukan pekerjaan ini harus selalu diingat bahwa embrio secara nyata memiliki tiga dimensi dan usahakan memfokuskan cahaya dengan cermat.

Dalam mempelajari irisan dari suatu seri irisan, yang perlu dilakukan pertama-tama adalah menentukan **lokasi** tempat pengirisan dilakukan, misalnya apakah di daerah kepala, di daerah di tempat calon gonad berkembang, di daerah dada atau di daerah mana saja. Bidang irisan yang sedang diamati lebih dipertegas dengan membandingkan embrio utuh yang sama umurnya dengan embrio asal irisan tadi dibuat. Hanya dengan penempatan secara tepat suatu irisan yang sedang dipelajari, dapat dicari hubungan antara struktur yang tampak pada irisan tadi dengan susunan embrio yang utuh (Gambar 1.5 dan 1.6).



Gambar 1.5.

Hubungan irisan longitudinal kepala embrional dengan gambar yang memperlihatkan kepala embrio pada umur yang sama yang dimounting (dilekatkan pada gelas obyektif) utuh, dalam sediaan transparan.

Pada pengamatan embrio utuh yang dilakukan di bawah mikroskop, sering ada bagian lekukan atau lipatan yang kemungkinan bertumpukan. Keadaan seperti itu hanya tampak sebagai garis atau bangunan yang menjadi lebih tebal. Selain itu, melalui pengamatan preparat utuh sering kita tidak dapat menetapkan jauh dekatnya hubungan struktur-struktur yang teristimewa sulit ditentukan dengan pemfokusan titik pandang, dan kesemuanya ini akan dengan jelas terlihat melalui pengamatan irisan. Dengan telah menentukan ketebalan sediaan irisan, dan dengan mengetahui pula berapa irisan yang diperlukan untuk mencapai kedua struktur yang diamati, maka dapat ditentukan pula jarak relatif antara kedua struktur tadi. Demikian bila ada jaringan atau organ yang bertumpukan pada preparat utuh yang sulit diinterpretasikan, maka melalui pengamatan irisan-irisannya, akan menjadi jelas bentuk-bentuk jaringan atau organ yang tampak bertumpukan pada preparat utuh tersebut dan sekaligus dapat ditentukan saling hubungannya.

Pengamatan preparat embrio utuh dari landasan pengamatan preparat irisan yang saling berhubungan, merupakan kunci yang tangguh untuk mempelajari embrio muda.

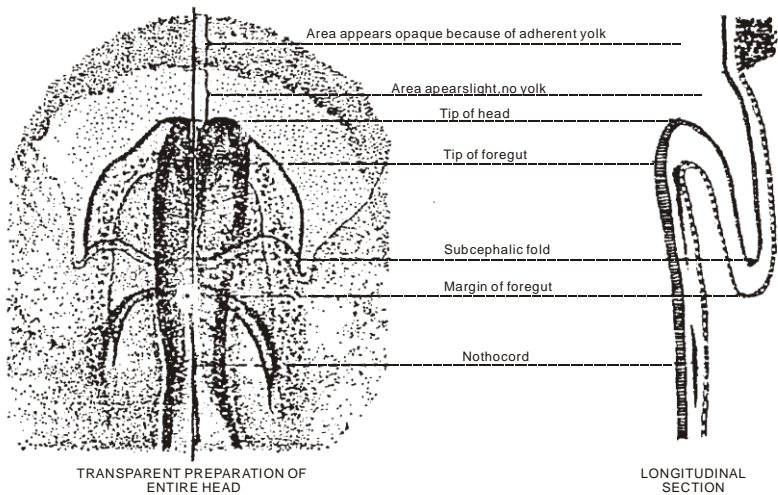
4. Kegunaan Gambar

Gambar merupakan hal yang penting dalam buku-buku embriologi. Embrio-embrio muda sangat kecil untuk dibedah atau diurai dengan cara-cara seperti yang biasa dilakukan untuk mempelajari makroanatomi. Konsep tiga dimensi susunan tubuh embrio harus disintesis, dan hubungan ini selalu berubah setiap waktu. Oleh karena itu, embriologi merupakan suatu permasalahan yang **berdimensi empat**, yang memberikan tantangan nyata bagi kita untuk terus berusaha memperagakannya secara efektif.

Gambar dapat dipolakan untuk menerangkan suatu ceritera yang jelas, dan sejajar dengan uraian yang akan kita buat. Jumlah gambar bisa tidak terbatas, bila ingin menjelaskan suatu peristiwa pertumbuhan atau perkembangan se jelas mungkin, perlu juga dipertimbangkan agar tidak menghabiskan banyak halaman.

Dalam menerangkan suatu rangkaian proses pertumbuhan atau perkembangan suatu organ atau jaringan, dipilih gambar-gambar yang dapat menggambarkan pertumbuhan atau perkembangan yang dimaksud.

Perlu diketahui bahwa suatu proses perkembangan dan saling hubungannya, akan lebih efektif dan mudah dimengerti bila disajikan dengan gambar dibanding, dengan rangkaian kata-kata atau kalimat. Gambar-gambar yang dibuat sesuai dengan apa yang dilihat dari sediaan irisan (yang dibuat dengan prosedur histologis yang benar), karena akan lebih menunjukkan kenyataan yang ada, dan kecil kemungkinannya terjadi kesalahan gambar. Sedang dengan uraian kata, kesalahan dalam penyusunan serta pengetikan, akan membawa ke interpretasi yang menyimpang. Sering terjadi seseorang yang membaca suatu uraian atau pernyataan orang lain, tidak dapat dengan cepat mengetahui secara persis apa yang dimaksudkan oleh penulis, selain itu juga membosankan dan melelahkan. Lain halnya dengan sajian gambar. Uraian embriologi tanpa gambar adalah tidak mungkin.



Gambar 1.6.

Hubungan irisan melintang (transversal) kepala embrio dengan gambar yang disajikan dengan kepala embrio utuh dari umur yang sama, yang dilihat dari sediaan transparan.

Kedua gambar dapat dihubungkan secara lebih erat dengan mengamati gambar-gambar tadi dari bagian paling atas kemudian menurun. Gambar ini dan gambar-gambar yang disajikan sebelumnya, memperlihatkan bahwa dengan mempelajari irisan-irisan dapat membantu untuk menafsirkan embrio-embrio utuh dan sekaligus merupakan cara untuk memperoleh perspektif yang lebih luas melalui pengkajian embrio utuh menambah kegunaan gambar-gambar irisan. Perhatikan terutama bahwa baik irisan transversal maupun irisan longitudinal secara bersama-sama cukup untuk menafsirkan seluruh gambaran embrio utuh. Embrio adalah obyek tiga dimensi dan harus dipelajari dengan apa adanya. Gambar ini memperlihatkan juga seberapa besar penampakan garis atau pita yang terlihat pada saat mempelajari preparat transparan embrio utuh dalam usaha untuk melihat kemiringan yang disebabkan oleh melekungnya suatu lapisan.

Gambar adalah satu-satunya pengaktualisasi dari apa yang terjadi atau apa yang dialami oleh embrio sejak ia sebagai zigot sampai ia menjadi mirip seperti orang tuanya. Dengan gambar, seseorang akan lebih mudah untuk menunjukkan bagaimana wujud yang ia maksud. Sebagai contoh, kita akan

menerangkan apa itu blastula ayam. Blastula ayam adalah suatu kumpulan blastomer yang mengapung di atas permukaan yolk (kuning telur) yang berbentuk sebagai lapisan sel yang terdiri dari dua lapis sel. Pada setiap tepi kelompok selnya berlekatan dengan kuning telur dan terpisah dari yolk oleh suatu rongga semacam celah yang disebut **blastosol**. Bagi orang yang pernah melihat gambaran melalui gambar-gambar yang telah tersedia, mungkin bisa menggambarkannya, tetapi bagi mereka yang sama sekali belum pernah melihat gambaran skematisnya, tentu akan sulit menggambarkan, seperti apa blastula ayam itu.

Dengan gambar-gambar yang dibuat pada periode-periode rangkaian perkembangan yang berurutan, dan dengan memanfaatkan kemajuan teknik histologi, serta metode-metode pewarnaan yang tepat, maka tahapan-tahapan dalam perkembangan embrional dapat diabadikan.

Gambar yang diperoleh dari sediaan selama pengamatan perkembangan embrio suatu hewan sangat penting. Oleh karenanya, gambarlah dengan benar apa yang Anda lihat dalam sediaan, jangan mengubah seperti yang Anda inginkan atau senangi, bagian-bagiannya, lekuk-lekuknya, proporsinya, bentuk garis luarnya, dan jangan lupa dalam setiap penyajian gambar sebutkan metode histologisnya, fiksatif, pengirisan, pewarnaan, perbesaran, serta sebutkan juga embrio umur berapa yang Anda gunakan. Seorang embriolog adalah juga seorang penggambar naturalis yang baik.

5. Istilah-istilah Tempat dalam Embrio

Dalam embriologi, perlu untuk menetapkan tempat struktur dan arah proses pertumbuhan dengan istilah-istilah yang dihubungkan ke tubuh embrio. Istilah-istilah petunjuk tempat yang umum kita pakai biasanya disesuaikan dengan arah tarikan gravitasi, seperti ke atas, atau ke bawah. Istilah-istilah ini kurang tepat untuk dipakai pada embriologi, karena sebenarnya embrio-embrio sendiri dapat berubah-ubah posisinya setiap saat. Dalam makroanatomi manusia, masih dipakai beberapa istilah yang disesuaikan dengan gravitasi. Istilah-istilah tadi didasarkan pada sikap tubuh manusia yang berdiri tegak, oleh karenanya tidak bisa dipakai untuk anatomi maupun embriologi. Contohnya ialah istilah anterior dan posterior, menunjukkan arah ke perut dan ke punggung.

Untuk embriologi lebih tepat bila digunakan istilah; **sephalik**, yang berarti ke arah kepala; **kaudalik**, ke arah ekor; **mesial**, ke arah bagian tengah; **lateral**, ke arah bagian samping; **dorsal**, menunjukkan ke arah punggung, **ventral**, menunjukkan ke arah perut embrio. Untuk daerah kepala, sering digunakan pula istilah **rostral** (yang sama dengan paruh atau cucuk pada burung dan moncong untuk kambing), digunakan untuk menunjukkan bagian paling ujung dari kepala, atau untuk menunjukkan tempat relatif struktur-struktur intra kranialis, seperti berbagai bagian otak depan.

Sebagai tambahan untuk keterangan posisi, yang berhubungan dengan gerakan atau arah, biasanya dengan menambah akhiran **-ad** pada **ajektif**-nya; contoh **dorsad**, berarti **ke arah punggung**; **kraniad**, berarti **ke arah kepala** dan seterusnya. Keterangan ini hanya dipakai untuk peristiwa yang bergerak, atau pada arah perluasan struktur ke arah bagian yang ditunjukkan oleh pokok kata-nya. Sebagai contoh, kita akan menjelaskan perkembangan suatu bagian embrio yang berada pada dinding lateral otak depan atau berada pada bagian kranial embrio; tetapi bila kita ingin mengekspresikan keinginan, bahwa ketika mata bertambah besarnya, ia bergerak lebih jauh ke sisi tadi, kita akan mengatakan mata tadi tumbuh laterad. Pengembangan penggunaan istilah posisi yang benar dan pasti serta istilah arah dalam hubungannya dengan proses-proses embriologik, akan sangat membantu pemikiran yang seksama ke pengertian yang lebih jelas.

Ada pula istilah yang sering digunakan untuk menyebutkan suatu jarak, atau suatu arah yang dibatasi oleh posisi atau kedudukan dua kutub; sebagai contoh istilah **kranio-kaudal** atau lebih tepatnya **sephalo-kaudal**. Penggabungan dua istilah tempat juga sering digunakan untuk menunjukkan suatu tempat yang letaknya memang pada posisi diantara kedua tempat sesuai dengan istilah yang digunakan. Misalnya **ventro-lateral**, ini menunjukkan pada sisi ventral di bagian lateral; **dorso-kaudal**, artinya bagian dorsal tapi di sebelah kaudal.

Begitu juga untuk menyebut **arah** atau kedudukan suatu irisan yang dilakukan pada embrio. Sebagai contoh, irisan melintang merupakan suatu irisan yang dibuat tegak lurus pada arah **sephalo-kaudal embrio**. **Irisan longitudinal**/irisian membujur, suatu irisan yang dibuat sejajar dengan arah **sephalo-kaudal embrio**. Pada irisan longitudinal ini ada **irisan sagital** dan **para sagital**. Irisan sagital bila irisan membujur atau irisan longitudinal yang dibuat membagi embrio menjadi bagian kanan dan kiri, sementara irisan parasagital, bila irisan longitudinal yang dibuat membagi embrio menjadi **bagian ventral** dan **bagian dorsal**.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskan, untuk apa sebenarnya sel-sel embrional selalu membelah!

- 2) Jelaskan, apa perbedaan antara pertumbuhan interstitiil dan pertumbuhan aposisi ditinjau dari susunan sel jaringan yang sedang tumbuh/berkembang!
- 3) Jelaskan apa yang dimaksud dengan pertumbuhan diferensial ! Berikan salah satu contohnya!
- 4) Jelaskan bagaimana rangkaian proses terjadinya migrasi sel-sel pada pembentukan tulang belakang (vertebrae)!
- 5) Bagaimana hubungan antara heriditas (sifat yang diwariskan) dan lingkungan dalam mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan suatu individu?

Petunjuk Jawaban Latihan

Untuk dapat menjawab dan menjelaskan soal-soal latihan di atas, pelajari kembali materi tentang:

- 1) tumbuh sebagai suatu pokok dalam perkembangan;
- 2) tipe-tipe pertumbuhan;
- 3) pertumbuhan diferensial;
- 4) diferensiasi sel;
- 5) faktor-faktor heriditas dan lingkungan.



RANGKUMAN

Pertumbuhan merupakan suatu proses bertambahnya ukuran atau bertambahnya jumlah sel suatu jaringan atau suatu individu secara keseluruhan pada suatu rentang waktu tertentu. Bertambahnya ukuran sel sebagai akibat adanya sintesis material protoplasma sel hidup yang terus menerus. Bertambahnya jumlah sel sebagai akibat terjadinya pembelahan sel yang terus menerus pada sel-sel jaringan embrional/jaringan meristematik. Pembelahan sel terjadi sebagai akibat induksi pada dinding sel oleh jumlah material protoplasma yang menjadi tidak tertampung lagi sehingga dinding sel tersebut tidak lagi mampu menampung metabolisme protoplasmiknya.

Bahan dasar yang dibutuhkan embrio untuk pertumbuhannya pada umumnya sama seperti yang dibutuhkan individu dewasa, yaitu protein, karbohidrat, lemak, air, vitamin, mineral dan pemasukan oksigen yang mencukupi. Kebutuhan material nutrisi pada individu tingkat primitif, telah disediakan secara komplit dalam telur yang ditelurkan, dalam bentuk vitelus, kecuali oksigen. Pada individu yang lebih maju tingkat

perkembangannya, nutrisi disediakan dalam aliran darah induknya dan embrio tinggal menyerap langsung darinya, melalui organ khusus yang dibentuk untuk keperluan tersebut, **plasenta**. Ada dua macam tipe pertumbuhan, pertumbuhan interstitiil dan pertumbuhan aposisi. **Pertumbuhan interstitiil** terjadi pada jaringan yang sel-sel yang menyusunnya tidak terbentuk atau terwujud secara padat. **Pertumbuhan aposisi** terjadi pada jaringan yang sel-sel yang menyusunnya berwujud secara padat.

Pertumbuhan diferensial, yaitu pertumbuhan jaringan yang sama macamnya tetapi kecepatan pertumbuhannya tidak sama pada tempat dan saat yang berbeda. Sebagai contoh, sel-sel mesoderma yang dipersiapkan untuk membentuk jantung, pertumbuhannya tidak sama cepatnya dengan sel-sel mesoderma pada tempat yang lain dalam embrio. Sel itu dipersiapkan untuk menyediakan sistem pemompa untuk mengalirkan darah dan bahan-bahan makanan yang dikandungnya sebelum bagian-bagian lain tubuh yang sedang tumbuh dapat mencukupi kebutuhannya. Contoh lain pada pertumbuhan pipa syaraf. Pipa syaraf di bagian anterior yang nanti akan menjadi otak embrional akan tumbuh lebih cepat dibanding pipa syaraf di bagian lainnya.

Sel-sel hasil pembelahan segmentasi zigot yang berulang-ulang segera akan menyusun dirinya menjadi **3 lapisan sel**, yang disebut lapisan sel germinal primer, yang atas dasar posisi relatifnya dalam embrio disebut **ekto**, **meso** dan **entoderma**. Pemisahan sel-sel yang semula sama ini menjadi tiga lapisan sel baru, merupakan proses diferensiasi awal sel-sel embrional.

Diferensiasi sebagai proses pengelompokan sel yang disesuaikan dengan fungsi atau kespesifikan sel. Sel-sel germinal primer akan mengalami diferensiasi lebih lanjut lewat proses yang disebut invaginasi, evaginasi, migrasi atau mungkin integrasi, untuk memberikan timbulnya jaringan atau organ baru. Proses diferensiasi seluler yang mempunyai arah untuk membentuk jaringan atau organ untuk sekedar menyesuaikan dengan bentuk induknya, disebut pertumbuhan menyusun bentuk tubuh, disebut **morfogenesis**. Sementara diferensiasi yang mempunyai arah menyusun spesifikasi sel-sel penyusun organ yang disesuaikan dengan fungsinya, disebut **histogenesis**. Contoh histogenesis, pembentukan fibril-fibril kontraktil pada sel-sel otot, pembentukan granula-granula prosekresi pada sel-sel kelenjar dan pengendapan garam-garam kalsium pada sel pembentuk tulang.

Bahan yang dipilih untuk dipelajari di dalam laboratorium, antara lain: (1) sesuai dengan proses-proses perkembangan yang akan dipelajari, (2) perkembangan embrionalnya telah diketahui dengan baik, (3) dapat disiapkan dengan jumlah yang sesuai dengan jumlah siswa.

Untuk mempelajari pembelahan segmentasi sebaiknya digunakan telur amphibia. Untuk mempelajari pembentukan tubuh embrio dan penyusunan sistem organ, sebaiknya digunakan embrio ayam. Untuk mempelajari perkembangan sistem organ sebaiknya digunakan embrio mamalia; misal embrio kelinci, marmut atau embrio babi dan juga embrio manusia.



TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- A. jika pernyataan benar dan alasan benar dan antara keduanya terdapat hubungan sebab akibat.
 - B. jika pernyataan benar alasan benar tetapi antara keduanya tidak ada hubungan sebab akibat.
 - C. jika pernyataan benar alasan salah atau pernyataan salah alasan benar.
 - D. jika pernyataan maupun alasannya salah.
- 1) Agar jumlah protoplasma tetap tertampung oleh membran sel maka permukaan membran sel selalu harus ditambah lewat pembelahan sel.
sebab
Pertambahan volume protoplasma sebagai kelipatan tiga jari-jari sedang pertambahan luas membran sel sebagai kelipatan dua jari-jari
 - 2) Pada embrio ayam hubungan antara embrio dengan induknya dalam hal nutrisi terjadi secara langsung.
sebab
Embrio memperoleh nutrisi dari makanan cadangan yang telah disediakan oleh induknya di dalam telur tempat embrio tadi berkembang.
 - 3) Pertumbuhan aposisi adalah pertumbuhan di mana penambahan luas atau besar jaringan terjadi pada permukaan jaringan yang telah terbentuk.
sebab
Pertumbuhan semacam ini biasanya terjadi pada jaringan-jaringan yang sel-selnya tidak berbentuk kompak dan padat.
 - 4) Terjadinya bentuk atau bangunan yang disebut “cauda equina” (bangunan seperti rambut-rambut ekor kuda) pada syaraf spinalis sebagai akibat dari adanya pertumbuhan diferensial.
sebab
Pada peristiwa ini pertumbuhan Corda spinalis lebih cepat dibanding pertumbuhan nervus spinalis.

- 5) Dalam proses pembentukan organ penglihatan terjadi peristiwa integrasi.
sebab
Terjadi penggabungan sel-sel dari berbagai lapisan germinal yang berbeda untuk bersama-sama membentuk retina.
- 6) Faktor heriditas sebagai faktor yang dominan di dalam perkembangan individu.
sebab
Semua karakter individu baik fisik maupun kecerdasannya ditentukan olehnya tanpa dipengaruhi faktor lingkungan.
- Petunjuk soal untuk Nomor 7 sampai dengan 10, pilihlah jawaban yang Anda anggap paling tepat.
- 7) Dalam proses penggunaan material makanan yang telah disediakan oleh induknya di dalam telur, embrio harus mengubah makanan sediaan tadi menjadi bahan yang larut air, untuk keperluan tersebut embrio harus mensekresi
A. hormon
B. vitamin
C. enzim
D. asam lambung
- 8) Bahan yang paling sesuai/cocok untuk mempelajari proses pembelahan segmentasi telur (zigot) adalah telur hewan
A. ayam
B. katak
C. reptil
D. mamalia
- 9) Proses perkembangan vertebrae pada perkembangan embrional terjadi dengan cara
A. integrasi
B. evaginasi
C. invaginasi
D. migrasi

- 10) Pembentukan fibril-fibril kontraktile pada sel-sel yang akan menjadi otot sebagai proses
- A. organogenesis
 - B. histogenesis
 - C. morfogenesis
 - D. gametogenesis

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) D
- 2) C
- 3) C
- 4) C
- 5) D
- 6) D
- 7) A
- 8) A
- 9) B
- 10) C

Tes Formatif 2

- 1) A
- 2) C
- 3) C
- 4) A
- 5) C
- 6) D
- 7) C
- 8) B
- 9) D
- 10) B

Daftar Pustaka

- JPordan, H.E. and J.E. Kinred. (1948). *Textbook of Embryology*. New York: D. Appleton-Century Co., Inc.
- Patten, B.M. (1974). *Foundations of Embryology*. New Delhi: McGraw-Hillbook Co., Inc.
- Soeminto, T. (1992). *Dasar-dasar Embriologi I*. (Diterjemahkan dari *Foundations of Embryology*, Patten, B.M. 1954). Purwokerto: Fakultas Biologi Unsoed.
- Soeminto, T. (1996). *Pokok-pokok Embriologi Perbandingan pada Vertebrata*. (Diterjemahkan dari *Fundamentals of Comparatives Embryology of The Vertebrates*, Huettner, F.A. 1961). Purwokerto: Fakultas Biologi Unsoed, Purwokerto.