

JILID 1

# PERKEMBANGAN HEWAN

## EMBRIOGENESIS

Adnan



PERKEMBANGAN  
**HEWAN**

EMBRIOGENESIS

Jilid 1

Penulis  
**Adnan**



Penerbit

PUSAT PENGEMBANGAN PENDIDIKAN DAN PENELITIAN INDONESIA

**Perkembangan Hewan**  
(Embriogenesis) Jilid I

**Penulis :**  
**Adnan**

**ISBN :** 978-623-5490-79-3 (no.jil.lengkap)  
978-623-5490-80-9 (jil.1 )

**Editor :**  
A. Asmawati

**Penyunting :**  
Muhamad Suhardi  
Randi Pratama Murtikusuma  
**Anggota IKAPI Nomor :** 009/NTB/2021

**Desain sampul dan tata letak :**  
Rifka Almunawarah

**Penerbit :**  
Pusat Pengembangan Pendidikan dan Penelitian Indonesia

**Redaksi :**  
Lingkungan Handayani, Leneng, Praya, Lombok Tengah, NTB (83515)  
Telp +6285239967417 Email : p4i.indonesia@gmail.com

**Distributor Tunggal :**  
**Yayasan Insan Cendekia Indonesia Raya**  
Lingkungan Handayani, Leneng, Praya, Lombok Tengah, NTB (83515)  
Telp +6285239967417 Email : insancendekiaindonesiaraya@gmail.com

Cetakan Pertama, November 2022  
Hak cipta dilindungi undang-undang  
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun  
tanpa izin tertulis dari penerbit

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan nikmat kesehatan dan kesempatan, nikmat pengetahuan dan kemauan sehingga buku Perkembangan Hewan (Embriogenesis) Jilid I ini dapat diselesaikan. Reproduksi dan Embriologi merupakan ilmu yang cukup tua, namun perkembangannya sangat pesat. Hal ini tidak terlepas dari nilai kegunaannya, karena persoalan reproduksi dan embriologi merupakan persoalan yang dapat dialami oleh siapa saja.

Buku ini terdiri atas delapan bab. Bab I membahas tentang alasan pentingnya mempelajari reproduksi dan embriologi, ruang lingkup, diferensiasi seluler, teori-teori perkembangan, dan cara mempelajarinya. Bab II membahas mengenai reproduksi sel, khususnya mitosis dan meiosis yang menjadi dasar dari pertumbuhan dan perkembangan. Bab III membahas tentang organ-organ reproduksi, baik pada jantan maupun pada betina, siklus reproduksi khususnya siklus estrus dan siklus menstruasi. Bab IV membahas tentang gametogenesis, mulai dari asal usul sel kelamin, spermatogenesis, oogenesis serta seluk beluk mengenai gamet. Bab V membahas tentang seluk beluk fertilisasi, mulai dari proses pengangkutannya hingga fusi antara pronukleus jantan dan pronukleus betina. Bab VI membahas tentang segmentasi, Bab VII membahas tentang tipe-tipe blastulasi pada berbagai jenis hewan. Bab VIII membahas tentang gastrulasi pada berbagai jenis hewan, khususnya mengenai pembentukan tiga lapisan lembaga, yaitu ektoderm, endoderm dan mesoderm. Bab IX membahas tentang implantasi dan selaput ekstra embrio. Implantasi membahas tentang berbagai tahap-tahap implantasi beserta tipe-tipenya, selaput ekstra embrio, khususnya amnion, kantong yolk, alantois dan chorion. Pada bagian ini, juga dibahas tentang plasenta, fungsi dan perkembangannya. Bila dilihat dari aspek isinya, buku ini belum sepenuhnya tuntas. Oleh sebab itu penulis sementara menyiapkan kelanjutan dari buku ini, yaitu buku yang membahas mengenai



organogenesis, metamorfosis, regenerasi dan aplikasi perkembangan hewan dalam kehidupan sehari-hari.

Akhirnya penulis sangat berterima kasih kepada semua pihak, khususnya kepada istri saya tercinta St. Marliyah, anak-anak saya (Akhmad Faqih, Akhmad Giffari, Akhmad Furqan, dan Akhmad Baihaqi) yang telah memberikan segalanya.

Adnan

## DAFTAR ISI

	halaman
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
 <b>BAB I PENDAHULUAN~~~1</b>	
A. Pengertian dan Ruang Lingkup Reproduksi dan Embriologi.....	1
B. Diferensiasi Seluler.....	9
C. Teori-Teori Perkembangan.....	11
D. Cara Mempelajari Reproduksi dan Embriologi.....	14
 <b>BAB II REPRODUKSI SEL~~~18</b>	
A. Siklus Sel.....	18
B. Mitosis dan Meiosis.....	19
 <b>BAB III ORGAN REPRODUKSI~~~31</b>	
A. Perkembangbiakan Secara Aseksual.....	31
B. Perkembangbiakan Secara Seksual.....	32
C. Organ-Organ Reproduksi.....	34
D. Siklus Reproduksi.....	45
 <b>BAB IV GAMETOGENESIS~~~56</b>	
A. Asal dan Migrasi Bakal Sel Kelamin.....	56
B. Spermatogenesis.....	62
C. Oogenesis.....	70
D. Vitellogenesis.....	76
E. Gamet.....	79
 <b>BAB V FERTILISASI~~~92</b>	
A. Transpor Gamet.....	93
B. Kapasitas Spermatozoa.....	96
C. Pengenalan Spermatozoa dan Sel Telur.....	98

D. Penetrasi Spermatozoa ke dalam Sel Telur .....	99
E. Pencegahan Polispermi .....	104
F. Aktivasi Metabolisme Telur .....	109
G. Aktivasi Spermatozoa Di dalam Sel Telur .....	111
 <b>BAB VI PEMBELAHAN (CLEAVAGE)~~~113</b>	
A. Segmentasi.....	113
B. Perubahan-perubahan Kimia Selama Pembelahan .....	114
C. Distribusi Yolk dan pengaruhnya Terhadap Pembelahan .....	116
D. Pola-pola Pembelahan .....	117
 <b>BAB VII BLASTULASI~~~135</b>	
A. Bentuk Blastula.....	135
B. Blastula pada Berbagai Jenis Hewan .....	135
C. Sel Lineage.....	140
D. Peta Nasib.....	145
 <b>BAB VIII GASTRULASI~~~150</b>	
A. Pengertian Gastrulasi .....	150
B. Gerakan Morfogenik .....	150
C. Gastrulasi .....	151
 <b>BAB IX IMPLANTASI DAN SELAPUT EKSTRA EMBRIO~~~174</b>	
A. Rahim pada saat Implantasi.....	174
B. Tahap-Tahap Implantasi .....	175
C. Tipe-Tipe Implantasi .....	182
D. Selaput Ekstra Embrio .....	185
E. Plasenta.....	193
 <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>199</b>
<b>PROFIL PENULIS.....</b>	<b>201</b>
<b>SINOPSIS .....</b>	<b>203</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Beberapa Karakter Sel yang Berubah Setelah Sel Mengalami Diferensiasi .....	10
Tabel 2.1 Perbandingan Ciri Utama Mitosis dan Meiosis .....	27
Tabel 3.1 Aplikasi Uji Apusan Vagina untuk Menentukan Aktivitas Estrogenik Suatu Bahan .....	46
Tabel 3.2 Panjang Siklus, Lama Birahi, dan Waktu Ovulasi pada Beberapa Hewan .....	49
Tabel 4.1 Perbandingan Pelindung Telur pada Beberapa Jenis Hewan .....	88
Tabel 9.1 Tipe-tipe Implantasi pada Berbagai Jenis Hewan ....	182
Tabel 9.2 Jenis-jenis Plasenta .....	198

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Tahap-Tahap Reproduksi pada Manusia .....	1
Gambar 1.2 Fase Utama Siklus Hidup Vertebrata .....	2
Gambar 1.3 Awal Perkembangan Mamalia .....	4
Gambar 1.4 Tahap-Tahap Perkembangan Zigot Hingga Stadium Blastokista .....	7
Gambar 1.5 Diferensiasi Sel Menjadi Jaringan .....	11
Gambar 1.6 Homunculus .....	12
Gambar 1.7 Stadium Perkembangan Ayam 5 Hari Setelah Fertilisasi .....	13
Gambar 1.8 Ilustrasi Hukum Von Baers pada Perkembangan Awal Vertebrata .....	13
Gambar 1.9 Transplantasi Inti pada <i>Xenopus</i> .....	15
Gambar 2.1 Skema Siklus Sel .....	18
Gambar 2.2 Duplikasi dan Distribusi Kromosom Selama Mitosis .....	20
Gambar 2.3 Tahap-tahap Mitosis .....	21
Gambar 2.4 Tahap-Tahap Pembelahan Meiosis I .....	25
Gambar 2.5 Tahap-Tahap Pembelahan Meiosis II .....	26
Gambar 3.1 Contoh-Contoh Perkembangbiakan Aseksual.....	31
Gambar 3.2 Alat-Alat Reproduksi Laki-Laki .....	33
Gambar 3.3 Struktur Testis Manusia .....	34
Gambar 3.4 Penampang Melintang Tubulus Seminiferous .....	35
Gambar 3.5 Alat-alat Reproduksi pada Wanita .....	37
Gambar 3.6 Ovarium pada Wanita .....	38
Gambar 3.7 Diagram Perkembangan Folikel.....	39
Gambar 3.8 Folikel Ovarium yang Sedang Berkembang .....	41
Gambar 3.9 Ultra Struktur Oosit, Sel-Sel Folikel dan Zona Pelusida .....	42
Gambar 3.10 Berbagai Jenis Uterus Pada Hewan dan Manusia .....	43
Gambar 3.11 Uterus dan Bagian-Bagiannya .....	44
Gambar 3.12 Kejadian-Kejadian dalam Siklus Estrus Kelinci .....	47

Gambar 3.13 Kejadian-Kejadian Penting Selama Siklus Menstruasi .....	52
Gambar 3.14 Pengontrolan Hormonal Siklus Menstruasi .....	53
Gambar 4.1 Penampilan PGC pada Embrio Mencit .....	57
Gambar 4.2 Asal PGC .....	58
Gambar 4.3 Diapedesis PGC pada Embrio Ayam .....	59
Gambar 4.4 Migrasi PGC pada Embrio Ayam .....	60
Gambar 4.5 Migrasi PGC pada Mencit .....	61
Gambar 4.6 Satu Spermatogonia Tipe A4 .....	62
Gambar 4.7 Tahap-tahap Spermatogenesis .....	63
Gambar 4.8 Kejadian Utama pada Spermatogenesis Manusia .....	64
Gambar 4.9 Spermiogenesis .....	65
Gambar 4.10 Lintasan Steroidogenesis pada Testis .....	67
Gambar 4.11 Lintasan Steroidogenesis pada Testis .....	68
Gambar 4.12 Perubahan-Perubahan Populasi Sel-Sel Germa pada Ovarium Manusia .....	70
Gambar 4.13 Tahap-Tahap Oogenesis .....	71
Gambar 4.14 Lintasan Steroid Ogenesis pada Ovarium .....	73
Gambar 4.15 Mekanisme Aksi Hormon Steroid dan Non Steroid .....	74
Gambar 4.16 Pengontrolan Vitellogenesis pada Ampibia .....	77
Gambar 4.17 Bentuk-Bentuk Sperma .....	79
Gambar 4.18 Bagian-Bagian Utama Sperma .....	80
Gambar 4.19 Berbagai Bentuk Kepala Sperma .....	80
Gambar 4.20 Struktur Kepala Sperma pada Mamalia .....	81
Gambar 4.21 Susunan Axonema pada Bagian <i>Principal Piece</i> .....	82
Gambar 4.22 Ultrastruktur Sperma pada Mamalia .....	83
Gambar 4.23 Berbagai Tipe Telur .....	84
Gambar 4.24 Diagram Struktur Telur Ayam .....	85
Gambar 4.25 Struktur Saluran Reproduksi Ayam .....	87
Gambar 4.26 Perbandingan Pelindung Telur Berbagai Spesies .....	89
Gambar 5.1 Ovulasi, Tempat Fertilisasi, Awal Pembelahan .....	96
Gambar 5.2 Sperma Bintang Laut Melekat .....	97
Gambar 5.3 Tahap-Tahap Reaksi Akrosom pada Bintang Laut ....	99
Gambar 5.4 Diagram Skematis Molekul-Molekul .....	100

Gambar 5.5	Reaksi Akrosom .....	101
Gambar 5.6	Sperma Bintang Laut .....	102
Gambar 5.7	Perkembangan Dispermik Telur Bintang Laut .....	103
Gambar 5.8	Grafik .....	104
Gambar 5.9	Kejadian-kejadian Utama pada Reaksi Korteks .....	105
Gambar 5.10	Tahap-Tahap Reaksi Korteks .....	106
Gambar 5.11	Kejadian Utama Selama Berlangsungnya Fertilisasi .....	108
Gambar 6.1	Perbandingan Siklus Sel Dewasa .....	111
Gambar 6.2	Perubahan-perubahan Sintesis Asam Nukleat Pada Oogenesis .....	113
Gambar 6.3	Pembelahan Radial Holoblastik pada <i>Synapta</i> <i>Digitata</i> dan Pembentukan Blastula .....	116
Gambar 6.4	Pembelahan pada <i>Asterias</i> .....	117
Gambar 6.5	Pembelahan Radial Holoblastik pada <i>Amphioxus</i> .....	118
Gambar 6.6	Scanning <i>Electron Micrograph</i> .....	119
Gambar 6.7	Pembelahan yang Berlangsung pada Embrio Katak .....	119
Gambar 6.8	Scanning <i>Electron Micrograph</i> Embrio Katak .....	120
Gambar 6.9	Pola Pembelahan Spiral .....	121
Gambar 6.10	Pembelahan Spiral Holoblastik Dilihat dari Atas dan dari Samping .....	122
Gambar 6.11	Pewarisan Maternal pada <i>Limnea peregra</i> .....	123
Gambar 6.12	Orientasi Spindel Mitosis .....	124
Gambar 6.13	Diagram Pembelahan Sel pada Nematode .....	125
Gambar 6.14	Diagram Pembelahan Sel pada Nematode Stadium 8 .....	125
Gambar 6.15	Perbandingan Pembelahan Awal pada Embrio .....	126
Gambar 6.16	Scanning Elektron Micrograf Embrio Mencit .....	127
Gambar 6.17	Skema Perubahan Bentuk Sel .....	127
Gambar 6.18	Pembelahan Meroblastik Ayam .....	128
Gambar 6.19	Pembelahan Diskoidal Meroblastik .....	129
Gambar 6.20	Pembelahan Diskoidal Meroblastik pada Ikan Zebra .....	131

Gambar 6.21 Pembelahan Superficial pada <i>Drosophila Sp.</i> .....	132
Gambar 7.1 Stadium Blastula pada <i>Asterias Sp</i> .....	134
Gambar 7.2 Ingresi Mesenkim Primer pada <i>Asterias</i> .....	134
Gambar 7.3 Blastula pada <i>Amphioxus</i> .....	135
Gambar 7.4 Blastula pada Katak .....	136
Gambar 7.5 Pembentukan Rongga Blastula pada Ayam .....	137
Gambar 7.6 Skema Blastula pada Embrio Mamalia .....	138
Gambar 7.7 Pembelahan Zigot pada <i>Dentalium</i> .....	139
Gambar 7.8 Percobaan yang Menunjukkan Sifat Mosaik Telur <i>Dentalium</i> .....	140
Gambar 7.9 Percobaan yang Menunjukkan Sifat Regulatif .....	141
Gambar 7.10 Sifat Mosaik Regulatif Telur Bintang Laut .....	141
Gambar 7.11 Percobaan Berkurangnya Sifat Regulatif Embrio .....	142
Gambar 7.12 Peta Nasib Morula <i>Amphioxus</i> .....	143
Gambar 7.13 Peta Nasib Blastula <i>Ascidian</i> .....	143
Gambar 7.14 Peta Nasib Blastula <i>Triturus</i> .....	144
Gambar 7.15 Peta Nasib Gastrula <i>Axolotl</i> .....	144
Gambar 7.16 Peta Nasib Blastula <i>Bombinator</i> .....	145
Gambar 7.17 Peta Nasib Blastula <i>Anura</i> .....	145
Gambar 7.18 Peta Nasib Blastoderm <i>Fundulus</i> .....	146
Gambar 7.19 Peta Nasib Blastoderm <i>Shark</i> .....	146
Gambar 7.20 Peta Nasib Blastoderm dan Gastrulasi Ayam .....	147
Gambar 8.1 Gastrulasi pada <i>Asterias</i> .....	150
Gambar 8.2 Awal Gastrulasi pada <i>Amphioxus</i> .....	151
Gambar 8.3 Gastrula <i>Amphioxus</i> dengan Sisa <i>Blastocoel</i> .....	152
Gambar 8.4 Gastrula <i>Amphioxus</i> dan Pembentukan <i>Neurenteric Canal</i> .....	152
Gambar 8.5 Gastrula <i>Amphioxus</i> Menunjukkan Pertumbuhan Ektoderm .....	154
Gambar 8.6 Sayatan Transversal Melalui Embrio <i>Amphioxus</i> .....	154
Gambar 8.7 Embrio <i>Amphioxus</i> dengan Pembentukan Kantung Enterocoelic .....	155
Gambar 8.8 Embrio <i>Amphioxus</i> , Kantung Archenterik Mengalami Konstriksi .....	156



Gambar 8.9 Embrio Amphioxus dengan Tabung Saraf .....	156
Gambar 8.10 Blastula .....	157
Gambar 8.11 Proses Gastrulasi pada Embrio Katak .....	158
Gambar 8.12 Penampakan Gastrula dari Luar .....	159
Gambar 8.13 Skema Polaritas dan Rotasi Gastrula Katak .....	161
Gambar 8.14 Empat Stadium Pembentukan Primitif Streak .....	162
Gambar 8.15 Embrio Ayam Umur Inkubasi 16 Jam .....	163
Gambar 8.16 Diagram yang Mengilustrasikan Pola-pola Pergerakan Sel .....	163
Gambar 8.17 Pembentukan Lipatan Kepala pada Embrio Ayam .....	164
Gambar 8.18 Tahap-Tahap Pembentukan Lapisan Mesoderm .....	165
Gambar 8.19 Model Tiga Dimensi Embrio Awal Ayam .....	165
Gambar 8.20 Gastrulasi Embrio Mamalia .....	166
Gambar 8.21 Gastrulasi Embrio Mamalia .....	167
Gambar 8.22 Skema Asal Jaringan Presomik Embrio Manusia dan Kera .....	168
Gambar 8.23 Skema Sel Lineage Awal Embrio Mencit .....	170
Gambar 9.1 Blastokista Manusia didalam Rongga Rahim .....	172
Gambar 9.2 Blastokista Manusia Umur 7.5 Hari .....	173
Gambar 9.3 Blastokista Manusia Umur 9 Hari .....	174
Gambar 9.4 Blastokista Manusia Umur 12 Hari .....	175
Gambar 9.5 Blastokista Manusia Umur 13 Hari .....	176
Gambar 9.6 Stereogram Blastokista Manusia Umur 14-15 Hari .....	177
Gambar 9.7 Stereogram Blastokista Manusia Umur 20-22 Hari .....	178
Gambar 9.8 Blastokista Manusia Akhir Minggu Ketiga .....	179
Gambar 9.9 Implantasi Tipe Superficial .....	180
Gambar 9.10 Implantasi Tipe Eksentrik .....	180
Gambar 9.11 Tipe Implantasi Interstisial .....	181
Gambar 9.12 Perkembangan Selaput Ekstra Embrio Pada Manusia .....	184
Gambar 9.13 Perkembangan Selaput Ekstra Embrio Pada	

Manusia Umur 33 Hari Setelah Implantasi .....	185
Gambar 9.14 Pembentukan Saluran Pencernaan Makanan .....	187
Gambar 9.15 Sayatan Longitudinal .....	188
Gambar 9.16 Sayatan Longitudinal Pembentukan Selaput Ekstra Embrio .....	189
Gambar 9.17 Pembentukan Kantung Alantois .....	191
Gambar 9.18 Chorion pada Ayam .....	192
Gambar 9.19 Tipe-Tipe Plasenta .....	194
Gambar 9.20 Plasenta Epitheliochorial .....	195
Gambar 9.21 Plasenta Endoteliokorial .....	196
Gambar 9.22 Sirkulasi Fetus-Induk .....	197

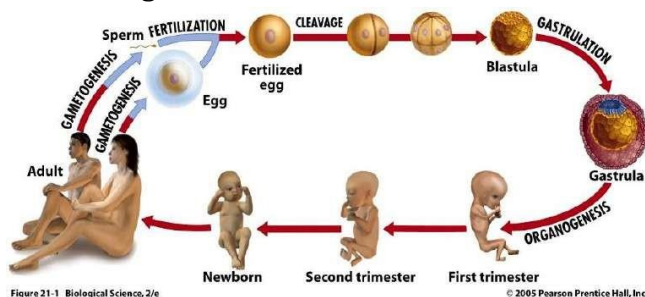
# BAB I

## PENDAHULUAN

Reproduksi adalah pembentukan organisme baru dari individu yang telah ada. Reproduksi bertujuan untuk mempertahankan suatu spesies secara keseluruhan. Jadi proses reproduksi tidak diperlukan untuk kelangsungan hidup tiap organisme seperti bernapas, makan, ekskresi dan pencernaan, namun tanpa reproduksi spesies akan punah. Reproduksi dapat dipandang dari berbagai tingkatan. Pada tingkatan molekuler reproduksi menyangkut kemampuan khas asam nukleat untuk menggandakan diri. Pada tingkat seluler, reproduksi menyangkut kemampuan sel untuk menggandakan diri, dan pada tingkat organisme reproduksi menyangkut kemampuan individu untuk menghasilkan keturunan. Reproduksi pada hewan dikelompokkan menjadi dua, yaitu reproduksi secara asexual (secara vegetatif atau secara tidak kawin) dan reproduksi secara seksual (secara generatif atau secara kawin).

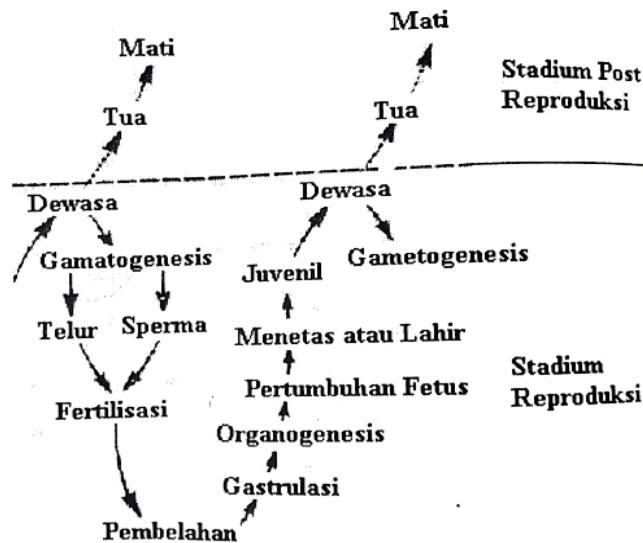
### A. Pengertian dan Ruang Lingkup Reproduksi dan Embriologi

Reproduksi pada hewan multiseluler dan manusia dapat dipandang pada dua aspek, yaitu aspek pertama berkenaan dengan asal-usul dan pembentukan gamet hingga terbentuknya zigot, dan aspek kedua berkenaan dengan perkembangan zigot hingga membentuk satu organisme yang definitif. Aspek yang kedua ini biasa dinamakan embriologi.



Gambar 1.1 Tahap-Tahap Reproduksi pada Manusia  
Sumber: protistbiology.com

Embriologi adalah ilmu yang mempelajari tentang perkembangan organisme mulai dari zigot hingga lahir atau menetas. Sedangkan embriologi perkembangan mempelajari perkembangan organisme mulai dari zigot hingga lahir, dan perkembangan organisme setelah lahir atau setelah menetas. Jadi ruang lingkup embriologi pasca lahir atau pasca tetas seperti metamorfosis pada serangga atau regenerasi pada bintang laut. Jadi ruang lingkup embriologi perkembangan lebih luas dibandingkan dengan embriologi. Contoh perkembangan setelah lahir atau setelah menetas adalah metamorfosis dan regenerasi.



Gambar 1.2 Fase Utama Siklus Hidup Vertebrata  
Sumber: Carlson, 1988

Perkembangan merupakan suatu proses yang berkenaan dengan terjadinya perubahan-perubahan progresif yang berlangsung di dalam sel, jaringan, organ, atau organisme selama rentang hidupnya. Dengan kata lain, perkembangan merupakan proses transformasi dari suatu keadaan, susunan, atau fungsi ke keadaan, susunan atau fungsi yang lain yang berlangsung secara progresif dan relatif permanen, misalnya perkembangan telur katak menjadi katak dewasa, perkecambahan biji, regenerasi anggota tubuh yang diamputasi pada salamander atau perkembangan larva menjadi kupu-

kupu (Spratt, 1976).

Menurut Majumdar, (1985) ada empat alasan mengapa embriologi dianggap penting untuk dipelajari. Keempat alasan tersebut adalah:

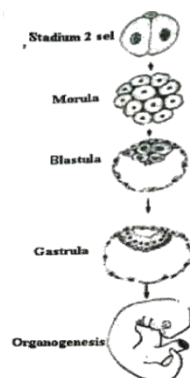
1. Dapat membantu memahami fungsi berbagai organ yang berbeda pada suatu organisme.
2. Dapat membantu mempelajari proses terjadinya organisme dan mencari jawaban secara filosofis bagaimana terbentuknya organisme secara bertahap.
3. Banyak jenis penyakit hanya dapat dimengerti sepenuhnya jika kita memiliki pengetahuan mengenai perkembangan organ dan organisme.
4. Dapat membantu memahami keterkaitan secara evolusi berbagai kelompok-kelompok hewan yang berbeda.

Pada perkembangbiakan secara seksual, semua organisme multiseluler berkembang dari suatu sel sederhana yang disebut zigot. Zigot selanjutnya mengalami serangkaian pembelahan secara mitosis dan menghasilkan sejumlah sel-sel. Sel-sel tersebut dinamakan blastomer. Blastomer-blastomer selanjutnya menyusun diri dan berkembang menjadi blastula, kemudian menjadi gastrula dan pada akhirnya mengalami sejumlah proses untuk membentuk struktur-struktur organ dengan fungsi yang spesifik. Peristiwa ini disebut organogenesis. Beberapa organ saling berinteraksi membentuk sistem organ, dan sistem organ secara bersama-sama membentuk satu individu baru. Individu baru yang terbentuk kemudian dilahirkan atau ditetaskan.

Perkembangan individu baru yang telah dilahirkan atau ditetaskan tidak berhenti sampai disitu. Sejumlah sel-sel yang menyusun tubuh individu setiap saat mati, misalnya sel-sel kulit dan sel-sel darah. Sel-sel yang mati perlu diganti agar keseimbangan fungsi tubuh tetap berlangsung.

Pada hewan tertentu, terkadang bagian tubuhnya mengalami kerusakan atau hilang karena suatu sebab. Bagian tubuh yang rusak atau hilang perlu dibentuk kembali melalui suatu proses yang dinamakan regenerasi. Peristiwa ini dapat dijumpai misalnya pada lengan bintang laut atau pada ekor cicak. Selain itu, sejumlah

organisme pada saat ditetaskan memiliki bentuk dan fungsi yang masih berbeda dengan individu dewasanya. Organisme-organisme yang demikian masih memerlukan suatu proses perkembangan yang spesifik agar bentuk dan fungsi individu yang baru tersebut menyerupai individu dewasanya. Proses tersebut dinamakan metamorfosis. Fenomena seperti ini dapat dijumpai pada katak atau Berbagai jenis serangga. Dengan demikian, biologi perkembangan mencakup dua aspek, yaitu aspek yang mempelajari perkembangan sebelum lahir atau menetas (periode pranatal) dan aspek yang mempelajari perkembangan setelah lahir atau menetas (periode post natal).



Gambar 1.3 Awal Perkembangan Mamalia  
Sumber: Carlson, 1988

Seperti telah dikemukakan sebelumnya, pada organisme multiseluler, zigot yang telah terbentuk mengubah kondisinya dari keadaan uniseluler menjadi multiseluler dan menghasilkan blastula. Blastula adalah suatu stadium perkembangan dimana embrio memiliki suatu rongga yang disebut rongga blastula atau blastocoel. Blastocoel berperan untuk memberi ruang gerak bagi sel-sel blastomer dan mencegah terjadinya interaksi seluler yang lebih dini, khususnya antara sel-sel ektoderm dan sel-sel mesoderm. Pada stadium selanjutnya, blastula berkembang menjadi gastrula. Gastrulasi melibatkan bermacam-macam gerakan morfogenetik seperti invaginasi evaginasi, delaminasi, konvergensi, dan involusi. Selama gastrulasi berlangsung, terjadi reorganisasi jaringan embrio dan menghasilkan tiga lapisan lembaga, yaitu ektoderm, mesoderm

dan endoderm. Organisme di mana pada stadium gastrulanya menghasilkan tiga lapisan lembaga disebut bersifat triploblastik, sedangkan yang hanya menghasilkan dua lapisan lembaga (ektoderm dan endoderm) disebut bersifat diploblastik. Seiring dengan berlangsungnya gastrulasi, pembentukan organ (organogenesis) mulai berlangsung.

Secara umum, perkembangan memiliki dua fungsi, yaitu (i) menghasilkan dan mengorganisir semua tipe sel di dalam tubuh. Bagaimana sebuah sel tunggal yang berasal dari telur yang dibuahi dapat membentuk berbagai tipe sel seperti sel otot, sel kulit, sel saraf, limfosit, sel darah dan semua tipe sel lain. Peristiwa di mana satu sel menghasilkan berbagai tipe sel dinamakan diferensiasi, sedangkan proses yang mengatur diferensiasi sel menjadi jaringan dan organ disebut morfogenesis (ii) Reproduksi (Gilbert, 1985).

Pada hewan yang berkembangbiak secara seksual, sebelum fertilisasi berlangsung, terlebih dahulu harus dibentuk gamet (sperma dan telur) melalui gametogenesis (spermatogenesis pada jantan dan oogenesis pada betina).

Spermatogenesis adalah proses pembentukan sperma yang berlangsung di dalam gonad jantan atau testis, tepatnya pada dinding tubulus seminiferus. Spermatogenesis dimulai dengan aktifnya sel-sel spermatogonia bermitosis yang dilanjutkan dengan terjadinya pembelahan reduksi (meiosis) hingga menghasilkan spermatid. Spermatid kemudian mengalami diferensiasi hingga dihasilkan spermatozoa melalui proses spermiogenesis. Spermatogenesis berlangsung di bawah pengendalian hormon. Di antara tubulus seminiferus terdapat jaringan interstisial yang mengandung sel-sel Leydig. Sel-sel Leydig menghasilkan hormon testosteron di bawah kendali hormon gonadotropin yang dihasilkan oleh kelenjar hipofisa, yaitu luteinizing hormon (LH). Hormon gonadotropin yang lain yang berperan di dalam spermatogenesis adalah follicle stimulating hormon (FSH) yang merangsang sel-sel Sertoli untuk menghasilkan androgen binding protein (ABP). ABP dapat mengikat testosteron yang sangat penting dalam spermatogenesis dan pematangan sperma.

Pada hewan yang berkembang biak secara seksual, sebelum

fertilisasi berlangsung, terlebih dahulu harus dibentuk gamet (sperma dan telur) melalui gametogenesis (spermatogenesis pada jantan dan oogenesis pada betina). Spermatogenesis adalah proses pembentukan sperma yang berlangsung di dalam gonad jantan atau testis, tepatnya pada dinding tubulus seminiferus. Spermatogenesis dimulai dengan aktifnya sel-sel spermatogonia bermitosis yang dilanjutkan dengan terjadinya pembelahan reduksi (meiosis) hingga menghasilkan spermatid. Spermatid kemudian mengalami diferensiasi hingga dihasilkan spermatozoa melalui proses spermiogenesis. Spermatogenesis berlangsung di bawah pengendalian hormon. Di antara tubulus seminiferus terdapat jaringan interstisial yang mengandung sel-sel leydig. Sel-sel leydig menghasilkan hormon testosteron di bawah kendali hormon gonadotropin yang dihasilkan oleh kelenjar hipofisa, yaitu luteinizing hormon (LH). Hormon gonadotropin yang lain yang berperan di dalam spermatogenesis adalah follicle stimulating hormon (FSH) yang merangsang sel-sel sertoli untuk menghasilkan androgen binding protein (ABP). ABP dapat mengikat testosteron yang sangat penting dalam spermatogenesis dan pematangan sperma. Pada hewan yang berkembangbiak secara seksual, sebelum fertilisasi berlangsung, terlebih dahulu harus dibentuk gamet (sperma dan telur) melalui gametogenesis (spermatogenesis pada jantan dan oogenesis pada betina). dahulu harus dibentuk gamet (sperma dan telur) melalui gametogenesis (spermatogenesis pada jantan dan oogenesis pada betina).

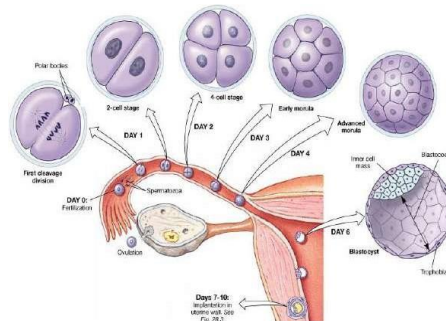
Spermatogenesis adalah proses pembentukan sperma yang berlangsung di dalam gonad jantan atau testis, tepatnya pada dinding tubulus seminiferus. Spermatogenesis dimulai dengan aktifnya sel-sel spermatogonia bermitosis yang dilanjutkan dengan terjadinya pembelahan reduksi (meiosis) hingga menghasilkan spermatid. Spermatid kemudian mengalami diferensiasi hingga dihasilkan spermatozoa melalui proses spermiogenesis. Spermatogenesis berlangsung di bawah pengendalian hormon. Di antara tubulus seminiferus terdapat jaringan interstisial yang mengandung sel-sel leydig. Sel-sel leydig menghasilkan hormon testosteron di bawah kendali hormon gonadotropin yang dihasilkan oleh kelenjar hipofisa,



yaitu luteinizing hormon (LH). Hormon gonadotropin yang lain yang berperan di dalam spermatogenesis adalah follicle stimulating hormon (FSH) yang merangsang sel-sel sertoli untuk menghasilkan androgen binding protein (ABP). ABP dapat mengikat testosteron yang sangat penting dalam spermatogenesis dan pematangan sperma.

Oogenesis adalah proses pembentukan sel telur, berlangsung di dalam gonad betina (ovarium). Oogenesis juga dikendalikan oleh berbagai jenis hormon antara lain FSH. FSH merangsang perkembangan folikel-folikel telur. Sel-sel folikel menghasilkan hormon estrogen yang penting untuk pendewasaan telur. Sel telur yang telah matang pada suatu saat akan bertemu dengan sel sperma. Inti kedua gamet akan berfusi membentuk satu inti diploid dan menghasilkan zigot.

Pada perkembangbiakan secara seksual, semua organisme multiseluler berkembang dari suatu sel sederhana yang disebut zigot. Zigot selanjutnya mengalami serangkaian pembelahan secara mitosis menghasilkan sejumlah sel yang disebut blastomer. Blastomer-blastomer selanjutnya berkembang menjadi morula dan blastula (lihat gambar 1.4). Blastula berkembang menjadi gastrula dan pada akhirnya mengalami sejumlah proses untuk membentuk struktur-struktur organ dengan fungsi yang spesifik. Peristiwa ini disebut organogenesis. Beberapa organ saling berinteraksi membentuk sistem organ, dan sistem organ secara bersama-sama membentuk satu individu baru. Individu baru yang terbentuk kemudian dilahirkan atau ditetaskan.



Gambar 1.4. Tahap-Tahap Perkembangan Zigot Hingga Stadium Blastokista  
Sumber: purdueedu.com

Perkembangannya individu baru yang telah dilahirkan atau ditetaskan tidak berhenti sampai disitu. Sejumlah sel-sel yang

menyusun tubuh individu setiap saat mati, misalnya sel-sel kulit dan sel-sel darah. Sel-sel yang mati perlu diganti agar keseimbangan fungsi tubuh tetap berlangsung. Pada hewan tertentu, selama kehidupan pascanatal bagian tubuhnya terkadang mengalami kerusakan atau hilang. Oleh sebab itu bagian yang rusak atau hilang tersebut perlu dibentuk kembali melalui suatu proses yang dinamakan regenerasi. Peristiwa ini dapat dijumpai misalnya pada lengan bintang laut atau pada ekor cicak. Selain itu, sejumlah organisme pada saat ditetaskan memiliki bentuk dan fungsi yang masih berbeda dengan individu dewasanya.

Organisme-organisme yang demikian masih memerlukan suatu proses perkembangan yang spesifik agar bentuk dan fungsi individu yang baru tersebut menyerupai individu dewasanya. Proses tersebut dinamakan metamorfosis. Fenomena seperti ini dapat dijumpai pada katak atau berbagai jenis serangga. Dengan demikian biologi perkembangan mencakup dua aspek, yaitu aspek yang mempelajari perkembangan sebelum lahir atau menetas (periode pranatal) dan aspek yang mempelajari perkembangan setelah menetas atau lahir (periode post natal).

Seperti dikemukakan sebelumnya, pada organisme multiseluler, zigot yang telah terbentuk mengubah kondisinya dari keadaan uniseluler menjadi multiseluler dan menghasilkan blastula. Blastula adalah suatu stadium perkembangan dimana embrio memiliki suatu rongga yang disebut blastocoel. Blastocoel berperan untuk memberi ruang gerak bagi sel-sel blastomer dan mencegah terjadinya interaksi seluler yang lebih dini, khususnya antara sel-sel ektoderm dan sel-sel mesoderm. Pada stadium selanjutnya, blastula berkembang menjadi gastrula. Gastrulasi melibatkan bermacam-macam gerakan morfogenetik seperti invaginasi, evaginasi, delaminasi, konvergensi, involusi dan sebagainya. Selama gastrulasi berlangsung, terjadi reorganisasi jaringan embrio dan menghasilkan tiga lapisan lembaga, yaitu ektoderm di luar, mesoderm di tengah dan endoderm didalam. Organisme dimana pada stadium gastrulanya menghasilkan tiga lapisan lembaga disebut bersifat triploblastik, sedangkan yang hanya menghasilkan dua lapisan lembaga (ektoderm dan endoderm) disebut bersifat diploblastik. Seiring dengan berlangsungnya

gastrulasi, pembentukan organ (organogenesis) mulai berlangsung.

Secara umum perkembangan memiliki dua fungsi yaitu (i) menghasilkan dan mengorganisir semua tipe sel di dalam tubuh. Bagaimana sebuah sel tunggal yang berasal dari telur yang dibuahi dapat membentuk berbagai tipe sel seperti sel otot, sel kulit, sel saraf, limfosit, sel darah dan semua tipe sel lain. Peristiwa di mana satu sel menghasilkan berbagai tipe sel dinamakan diferensiasi, sedangkan proses yang mengatur diferensiasi sel menjadi jaringan dan organ disebut morfogenesis (ii) Reproduksi (Gilbert, 1985).

Perkembangan melibatkan sejumlah proses, antara lain tumbuh, diferensiasi seluler, metabolisme, dan gerakan-gerakan morfogenetik. Sel merupakan sistem kompartemen yang sangat kompleks, di mana di dalamnya berlangsung aktivitas metabolisme dengan sistem pengontrolan yang sangat terkoordinasi antara satu sel dengan sel lainnya. Hal tersebut dimungkinkan berlangsung, sebab sel pada organisme multiseluler mengalami spesialisasi struktural dan fungsional.

## **B. Diferensiasi Seluler**

Pada mulanya bentuk kehidupan di alam hanya merupakan sel-sel individual yang soliter yang mengalami proses evolusi secara berangsur-angsur. Selama proses tersebut, pola aktivitas fungsional sel mengalami pergeseran melalui serangkaian proses diferensiasi, baik secara biokimiawi genetik maupun diferensiasi secara struktural dan fungsional. Hasil diferensiasi sel mengarah kepada spesialisasi sehingga sel-sel dapat melaksanakan beberapa fungsi yang spesifik dengan efisiensi yang jauh lebih besar.

Perubahan-perubahan morfologi selama diferensiasi sel disertai dengan perubahan-perubahan biokimiawi melalui proses sintesis sejumlah komponen-komponen organik sel, misalnya sintesis satu atau beberapa jenis protein tertentu pada setiap sel yang mengalami diferensiasi. Komponen-komponen organik yang disintesis misalnya protein aktin dan miosin pada sel-sel otot, atau enzim-enzim pencernaan oleh sel-sel asinus pankreas.

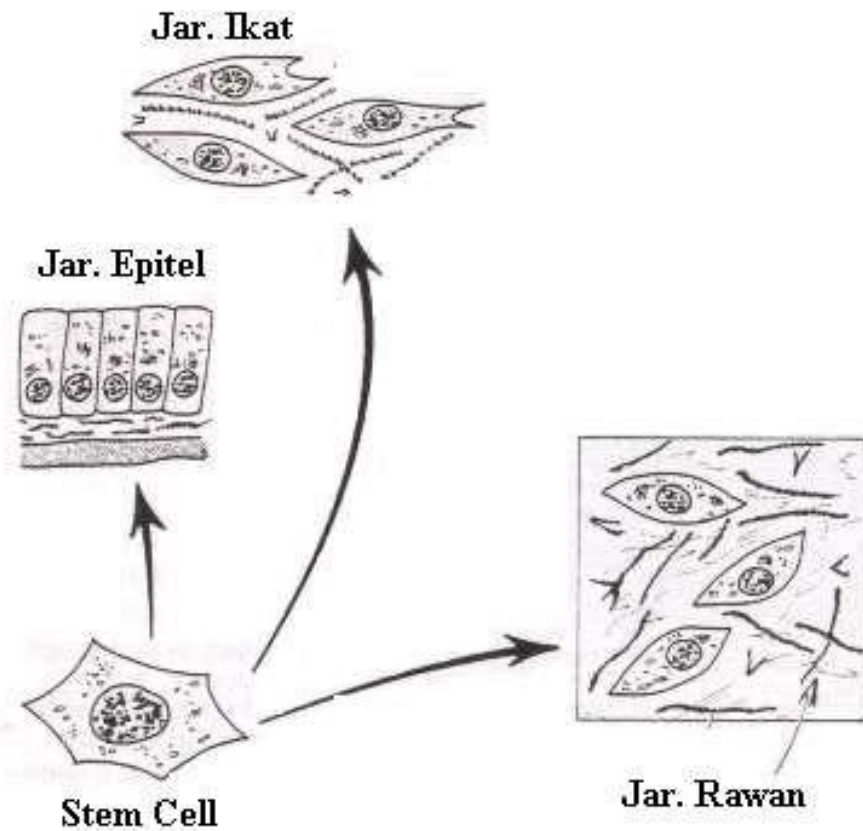
Perubahan-perubahan yang terjadi pada sel yang telah

mengalami diferensiasi dapat berupa perubahan dari segi fungsi, struktur internal, ukuran, kepekaan, motilitas, aktivitas mitosis dan sebagainya (tabel 1.1)

**Tabel 1.1 Beberapa Karakter Sel yang Berubah Setelah Sel Mengalami Diferensiasi**

<b>Karakteristik</b>	<b>Jenis Perubahan</b>	
	<b>Sebelum Diferensiasi</b>	<b>Setelah Diferensiasi</b>
Fungsi	Umum	Spesifik
Bentuk	Sederhana	Kompleks
Struktur internal	Sederhana	Kompleks
Ukuran	Lebih seragam	Bervariasi
Kepekaan	Tinggi	Kurang
Motilitas	Tinggi	Kurang
Aktivitas mitosis	Tinggi	Kurang
Jumlah produk sel	Sedikit	Banyak
Tipe produk sel	Umum	Spesifik
Metabolisme	Umum	Spesifik
Lingkungan mikro	Sederhana	Kompleks
Jumlah sel	Sedikit	Banyak
Arsitektur jaringan	Sederhana	Kompleks
Kemampuan umum	Besar	Sederhana

Diferensiasi seluler adalah spesialisasi sel. Pada awal perkembangannya, sel tidak terspesialisasi untuk melaksanakan fungsi-fungsi khusus, namun tetap mampu untuk melaksanakan aktivitas dalam batas-batas tertentu. Diferensiasi seluler dibagi menjadi dua, yaitu diferensiasi intraseluler dan diferensiasi interseluler (Spratt, 1971).



Gambar 1.5 Diferensiasi Sel Menjadi Jaringan  
Sumber: Carlson, 1988

### C. Teori-Teori Perkembangan

Dalam waktu yang sangat panjang, beberapa ahli mencoba mengemukakan pandangannya mengenai proses perkembangan dan melahirkan berbagai teori. Beberapa di antara teori-teori tersebut adalah sebagai berikut:

## 1. Teori Preformasi



Gambar 1.6 Homunculus  
Sumber: Carlson, 1988

Teori preformasi mengemukakan bahwa makhluk hidup telah dibentuk secara lengkap dalam bentuk miniatur di dalam sel gamet (sperma atau telur). Penganut teori preformasi pecah menjadi dua aliran yaitu aliran spermatis atau spermis dan aliran ovulis atau ovist. Aliran spermis beranggapan bahwa miniatur tersebut berada di dalam sperma, sedangkan telur hanya berperan sebagai medium nutritif saja agar miniatur dapat mengalami pertumbuhan dan perkembangan.

Hartsoekert (1964) menyebut makhluk miniatur tersebut dengan nama Homunculus. Aliran ovulis beranggapan bahwa makhluk miniatur yang dimaksud terdapat di dalam sel telur, jadi peran sperma hanya sebagai perangsang saja agar makhluk kecil tersebut dapat tumbuh menjadi besar.

## 2. Teori Epigenetik

Teori epigenetik dikemukakan oleh C.F Wolff pada tahun 1759. Ia mengemukakan bahwa di dalam gamet tidak ada makhluk dalam bentuk miniatur. Menurut teori ini makhluk hidup berkembang secara

bertahap dari struktur yang sederhana menjadi struktur yang lebih

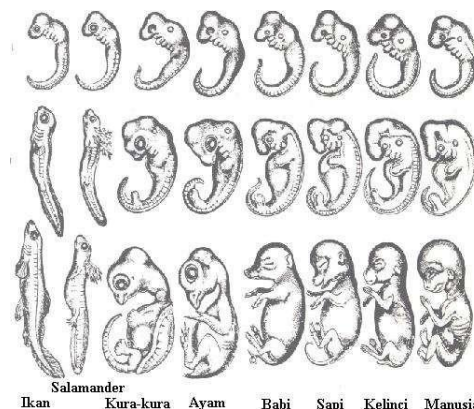


kompleks.

Gambar 1.7 Stadium Perkembangan Ayam 5 Hari Setelah Fertilisasi  
Sumber: Start dan Taggart, 1984

### 3. Hukum Von Baers

Hukum Von Baers dikemukakan oleh Karl Ernst Von Baers pada tahun 1828. Menurut teori ini jika suatu organisme berkembang dari suatu sel telur, maka ciri-ciri yang lebih umum berkembang lebih awal, dan ciri-ciri spesifik berkembang belakangan. Misalnya pada perkembangan ayam, karakter yang pertama muncul adalah ciri umum dari chordata, sedangkan ciri khusus dari aves berkembang kemudian seperti bulu dan paruh. Paru ayam baru tampak dengan jelas pada umur inkubasi 15 hari.



Gambar 1.8. Ilustrasi Hukum Von Baers pada Perkembangan Awal Vertebrata  
Sumber: Gilbert, 1985

### 4. Teori Rekapitulasi

Berawal dari teori evolusi yang mengemukakan bahwa hewan dan tumbuhan berkembang secara bertahap jutaan tahun yang lalu

dari organisme uniseluler ke multiseluler. Beranjak dari ide teori evolusi, Fritz Muller (1864) mengemukakan bahwa dalam proses perkembangan organisme (misalnya ayam), karakter-karakter leluhurnya tampak lebih dahulu dibandingkan dengan karakter-karakter yang baru (misalnya karakter ikan tampak lebih dahulu daripada karakter amphibia dan reptilia). Jadi secara phylogenetik, karakter ikan tampak lebih dahulu daripada karakter amphibia, reptilia, dan burung. Dalam perkembangan ayam, karakter ikan seperti celah insang tampak lebih dahulu dibandingkan dengan karakter burung. Setelah mempelajari teori Muller, Ernst Haeckel (1886) memberi nama teori tersebut dengan nama Hukum biogenetik atau teori rekapitulasi, dan menyimpulkan bahwa ontogeni merupakan rekapitulasi yang disederhanakan dari phylogeny. Ontogeni adalah sejarah perkembangan makhluk hidup mulai saat fertilisasi, lahir dan mati, sedangkan phylogeny adalah sejarah perkembangan makhluk hidup secara evolusi.

## **5. Teori Plasma Germinal (Teori Determinan)**

Teori ini dikemukakan oleh Weismann (1834-1914). Ia mengemukakan bahwa di dalam proses perkembangan, terjadi segregasi plasma germinal ke dalam keturunannya secara berkesinambungan. Di dalam sel terdapat germ plasma dan somatoplasma. Di dalam *germ plasma* terdapat determinan-determinan yang disagregasi secara berkesinambungan dari generasi ke generasi berikutnya. Pada setiap generasi germ plasma dan somatoplasma kembali dibentuk. Jadi Germ plasma bersifat abadi atau *immortal germ plasm*.

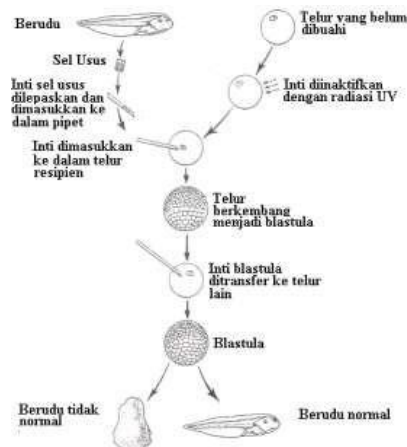
## **D. Cara Mempelajari Reproduksi dan Embriologi**

Untuk mempelajari proses perkembangan suatu organisme, berbagai cara dapat dilakukan melalui pengamatan pada berbagai tingkat organisasi, baik molekuler, seluler, biokimiawi, anatomi-morfologi, maupun pada tingkat fisiologi dan genetik. Dalam lingkup yang terbatas, reproduksi dan embriologi dapat dipelajari dengan berbagai cara yaitu:



1. Deskriptif, yaitu cara mempelajari reproduksi dan embriologi dengan membuat gambaran atau deskripsi dari berbagai struktur hewan.
2. Komparatif, yaitu dengan cara membandingkan proses reproduksi dan perkembangan antara suatu sel, jaringan, organ atau sistem organ, baik dalam satu individu maupun pada individu yang berbeda.
3. Biokimiawi, yaitu dengan cara mempelajari proses-proses biokimiawi yang terjadi selama berlangsungnya proses reproduksi dan perkembangan embrio.
4. Eksperimen, yaitu dengan cara melakukan suatu eksperimen atau percobaan. Eksperimen tersebut dapat berupa transplantasi, eksplantasi, kloning, kultur organ atau peruntan dengan radioaktif.

Eksplantasi merupakan pengeluaran sampel sederhana dari suatu jaringan embrio dan menumbuhkannya dalam suatu lingkungan artifisial, misalnya pada kelompok burung, kelompok dari sel-sel germa dari suatu individu dapat dieksplantasikan ke individu lain. Eksplantasi dapat memberikan suatu informasi mengenai bagaimana suatu jaringan dapat beradaptasi dan berdiferensiasi pada lingkungan yang baru. Transplantasi bertujuan untuk mengetahui perkembangan suatu jaringan di luar pengaruh jaringan normalnya. Selain jaringan, inti dari suatu sel juga dapat ditransplantasikan ke sel yang lain, misalnya transplantasi inti epitel usus ke dalam sel telur pada *Xenopus*. Inti epitel usus dikeluarkan kemudian dimasukkan ke dalam sel telur *Xenopus* yang telah dikeluarkan intinya atau intinya telah dinonaktifkan dengan radiasi ultraviolet. Telur selanjutnya dikultur dan berkembang menjadi blastula hingga berudu.



Gambar 1.9. Transplantasi Inti pada Xenopus  
Sumber: Carlson, 1988

Transplantasi dapat dilakukan dari suatu bagian embrio ke bagian lain pada embrio yang sama atau embrio lain pada spesies yang sama atau pada genus yang sama. Transplantasi dapat dibedakan menjadi beberapa tipe yaitu:

1. Autoplastik atau autografting, yaitu transplantasi jaringan embrio ke tempat lain pada embrio yang sama.
2. Homoplastik atau homografting, yaitu transplantasi jaringan dari suatu embrio ke embrio lain pada spesies yang sama.
3. Heteroplastik atau heterografting, yaitu transplantasi jaringan dari suatu embrio dari suatu spesies ke embrio yang lain pada spesies yang berbeda.
4. Xenoplastik atau xenografting, yaitu transplantasi jaringan dari suatu embrio dari suatu spesies ke embrio yang lain pada genus yang berbeda.

## Latihan

1. Jelaskan keterkaitan antara reproduksi dan embriologi. Buatlah dalam bentuk ilustrasi!
2. Kemukakan empat alasan mengapa reproduksi dan embriologi dianggap penting untuk dipelajari?
3. Jelaskan dalam hal apa embriologi berbeda dengan embriologi perkembangan!

4. Jelaskan dua fungsi perkembangan!
5. Mengapa sel yang telah berdiferensiasi mengalami perubahan dari segi sifat atau karakter?
6. Jelaskan perbedaan antara teori rekapitulasi dengan hukum Von Baers!
7. Jelaskan minimal empat cara mempelajari embriologi!
8. Jelaskan sebuah contoh aplikasi reproduksi dan embriologi dalam kehidupan sehari-hari!

# BAB II

## REPRODUKSI SEL

---

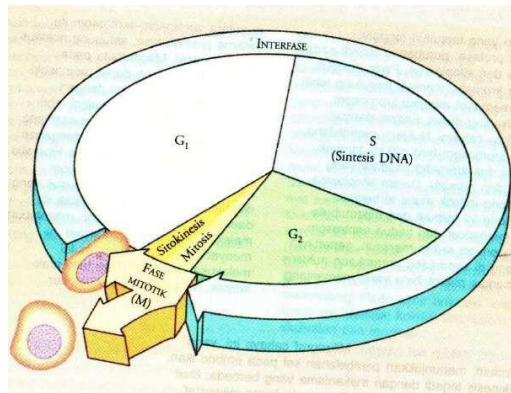
Sel merupakan satuan dasar struktural, fungsional dan hereditas dari makhluk hidup. Untuk pertumbuhan dan perkembangannya setiap organisme hidup tergantung pada pertumbuhan dan penggandaan sel-selnya. **Pada organisme uniseluler, pembelahan sel** diartikan sebagai reproduksi, dan dengan proses ini dua atau lebih individu baru dibentuk dari sel induk. **Pada organisme multiseluler**, individu-individu baru berkembang dari satu sel primordial yang dikenal dengan nama zigot, dan selanjutnya tumbuh dan berkembang menjadi individu baru. Individu baru yang dibentuk akan mengalami pertumbuhan melalui serangkaian pembelahan sel-sel penyusun tubuhnya hingga mencapai ukuran tertentu. Pada saat dewasa, sekalipun tubuh organisme tidak mengalami pertumbuhan lagi, namun setiap saat ratusan hingga ribuan sel-sel mengalami kerusakan, penuaan dan kematian. Sel-sel tersebut harus diganti dengan sel-sel baru. Secara umum pembelahan sel pada sel eukariotik berlangsung dengan dua cara, yaitu secara mitosis dan meiosis.

### A. Siklus Sel

Pada umumnya sebelum suatu sel mengalami pembelahan, sel-sel terlebih dahulu mengalami pertumbuhan hingga mencapai ukuran tertentu. Pada umumnya setiap sel mengalami dua periode yang penting dalam siklus hidupnya yaitu periode interfase atau periode nonpembelahan dan periode pembelahan yang menghasilkan sel-sel baru. Kedua periode tersebut secara umum dikenal dengan nama siklus sel.

Secara umum siklus sel terdiri atas dua periode yaitu (i) interfase, meliputi fase G<sub>1</sub>, S dan G<sub>2</sub>. Fase G<sub>1</sub> merupakan periode presintesis, fase S merupakan periode sintesis, dan G<sub>2</sub> merupakan fase postsintesis (ii) fase pembelahan sel yang terdiri atas fase mitosis dan sitokinesis. Fase mitosis terdiri atas beberapa fase yaitu fase profase, fase

prometafase, fase metafase, fase anafase, dan fase telofase.



Gambar 2.1 Skema Siklus Sel

Sumber: Campbell and Mitchell, 2002

Selama periode interfase, kromosom tidak tampak disebabkan karena materi kromosom dalam bentuk benang-benang kromatin, dan komponen-komponen makromolekulnya didistribusikan di dalam inti. Selama siklus sel terjadi perubahan-perubahan yang sangat dinamis. Perubahan-perubahan tersebut terutama komponen-komponen kimia sel seperti DNA, RNA, dan berbagai jenis protein. Duplikasi DNA berlangsung selama periode khusus interfase yang disebut fase sintesis atau periode S. Periode sintesis didahului oleh periode G<sub>1</sub> dan diikuti oleh periode G<sub>2</sub>.

Selama pembelahan sel, inti mengalami serangkaian perubahan-perubahan yang sangat kompleks, terutama perubahan-perubahan kandungan intinya. Pada saat pembelahan sel berlangsung, salut inti dan nukleus menjadi tidak tampak dan substansi kromatin mengalami kondensasi menjadi kromosom.

## B. Mitosis dan Meiosis

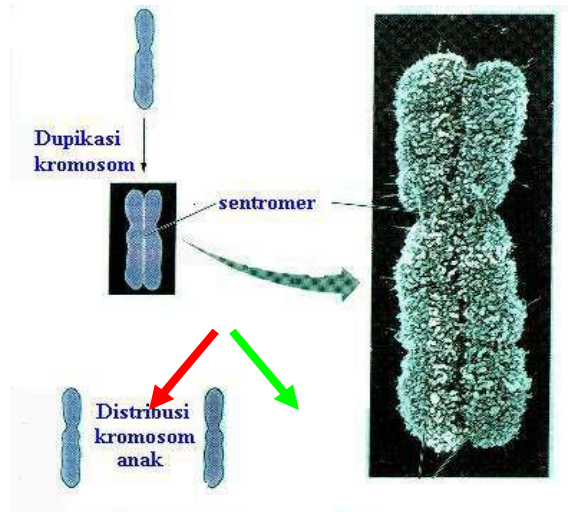
### 1. Mitosis

Fase mitosis diawali dengan serangkaian proses fosforilasi protein yang dipicu oleh MPF (faktor pemrakarsa mitosis) dan diakhiri oleh proses defosforilasi, sehingga protein-protein tersebut kembali ke keadaan interfase. Fosforilasi yang terjadi selama mitosis mengakibatkan terjadinya perubahan-perubahan morfologi pada sel misalnya: pemampatan kromosom, menghilangnya selubung nukleus, dan perubahan organisasi sitoskeleton. Perwujudan yang segera

terlihat menjelang fase mitosis yaitu pemampatan kromatin menjadi kromosom. Pemampatan kromosom ini diperlukan untuk pemisahannya ke sel anakan, dan disertai oleh fosforilasi molekul-molekul histon H<sub>1</sub> yang terdapat di dalam nukleus.

Pada proses pembelahan ini yang berperan aktif adalah dua kelompok komponen yang berbeda dari sitoskeleton. Kelompok yang dibentuk pertama kali adalah gelendong (aparatus) mitosis, yang terdiri dari mikrotubula dengan protein yang terkait. Gelendong mitosis mengatur kromosom pada suatu sekat yang membagi sel menjadi dua bagian. Sekat ini disebut bidang ekuator. Setiap belahan kromosom yang berada di daerah ekuator, ditarik ke kutub sel oleh mikrotubula dari gelendong mitosis. Kelompok kedua komponen sitoskeleton yaitu cincin kontraktile yang terdiri dari aktin dan miosin. Cincin kontraktile ini berperan sebagai pembentuk peleukan (invaginasi) selaput sel pada proses sitokinesis.

Setiap kromosom terduplikasi terdiri atas dua kromatid saudara (*sister chromatid*). Kedua kromatid yang mengandung salinan molekul DNA kromosom yang identik, mula-mula saling berlekatan satu dengan yang lain. Dalam bentuk padatnya, kromosom ini memiliki "pinggang" yang ramping pada daerah khusus yang disebut sentromer. Pada proses pembelahan sel selanjutnya, kromatid saudara dari semua kromosom ditarik saling menjauh dan dikemas kembali sebagai kumpulan lengkap di dalam dua nukleus baru, masing-masing satu pada setiap ujung sel. Mitosis, yaitu pembelahan nukleus, biasanya segera diikuti oleh sitokinesis, yaitu pembelahan sitoplasma. Pada proses pembelahan ini, dari satu sel diperoleh dua sel anak yang memiliki informasi genetik yang ekuivalen dengan sel induknya.



Gambar 2.2. Duplikasi dan Distribusi Kromosom Selama Mitosis  
Sumber: Campbell dan Mitchell, 2002

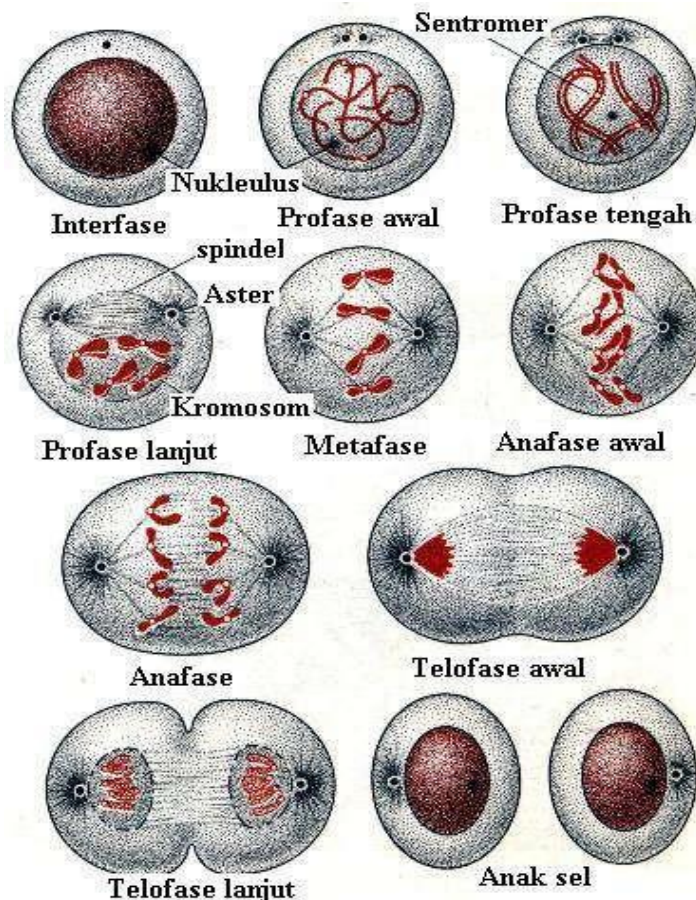
Mitosis atau pembelahan inti merupakan stadium akhir dari siklus sel dan merupakan stadium yang paling pendek, yaitu kurang lebih 10% dari keseluruhan waktu yang dibutuhkan untuk satu kali siklus. Selama pembelahan inti, struktur kromosom tampak mengalami perubahan-perubahan secara progresif.

#### a. Profase

Profase merupakan transisi dari fase G2 ke fase pembelahan inti atau mitosis (M) dari siklus sel. Profase adalah stadium pertama dari mitosis. Kromatin yang menyebar selama interfase secara perlahan-lahan terkondensasi menjadi kromosom yang mantap. Jumlah kromatin yang tepat merupakan ciri khas dari setiap spesies, sekalipun pada spesies yang berbeda dapat mempunyai jumlah kromatin yang sama. Selain itu pada profase selut inti mulai berdegenerasi dan secara perlahan-lahan inti menjadi tidak tampak, dan terjadilah pembentukan spindle mikrotubulus.

Sebelum profase masing-masing kromosom mengalami duplikasi selama fase sintesis dari siklus sel. Setiap kromosom terdiri atas dua kromatid sister yang bergabung pada suatu tempat yang disebut sentromer atau kinetokor. Pada awal profase, massa mikrotubulus sitoplasma yang merupakan bagian dari sitoskeleton rusak dan membentuk kelompok molekul-molekul tubulin yang besar.

Molekul-molekul tubulin digunakan kembali untuk konstruksi komponen utama aparatus mitosis atau spindle mitosis. Spindel mitosis merupakan struktur benang bipolar yang sebagian besar disusun oleh mikrotubulus yang mula-mula terbentuk di luar nukleus. Pusat pembentukan spindle atau kumparan pada kebanyakan sel hewan ditandai dengan adanya sentriol. Pasangan sentriol pada sel mula-mula berduplikasi dengan suatu proses yang dimulai tepat sebelum fase sintesis.



Gambar 2.3 Tahap-Tahap Mitosis  
Sumber: Sheeler dan Bianchii, 1983

Duplikasi menghasilkan dua pasang sentriol. Masing-masing pasangan sentriol sekarang menjadi pusat mitosis yang membentuk pusat bagi susunan mikrotubulus radial yang disebut aster. Kedua aster tersebut terletak berdampingan dekat salut inti. Pada profase



akhir, berkas-berkas mikrotubulus polar berinteraksi di antara dua aster, mula-mula memanjang dan tampak mendorong sentriol ke bagian sepanjang sisi salut inti. Dengan cara ini spindel mitosis bipolar terbentuk. Spindel mitosis terdiri dari mikrotubulus dan mikrofilamen yang berasosiasi dengan protein. Berdasarkan perlekatannya, spindel mitosis dibagi menjadi dua yaitu serabut-serabut bipolar yang merentang dari dua kutub spindel ke arah ekuator, dan serabut-serabut kinetokor yang melekat pada sentromer pada setiap kromatid dan merentang ke arah spindel.

#### **b. Prometafase**

Prometafase (metafase awal) dimulai secara tiba-tiba dengan rusaknya inti yang pecah menjadi fragmen-fragmen membran yang tidak dapat dibedakan dengan potongan-potongan retikulum endoplasma. Fragmen-fragmen tersebut tetap berada di sekitar kumpulan atau spindel selama mitosis. Kumpulan-kumpulan yang terletak di luar inti sekarang dapat masuk ke daerah inti.

Pada saat prometafase, kromosom-kromosom bermigrasi ke arah pusat spindel. Gerakan tersebut disebabkan karena adanya gerakan yang beragitasi yang disebabkan oleh adanya interaksi antara benang-benang kinetokor dengan komponen-komponen lain dari spindel.

#### **c. Metafase**

Selama metafase, sentromer dari setiap kromosom berkumpul pada bagian tengah spindel pada bidang ekuator. Pada tempat-tempat ini, sentromer-sentromer diikat oleh benang-benang spindel yang terpisah, di mana setiap kromatid dilekatkan pada kutub-kutub spindel yang berbeda. Kadang-kadang benang-benang spindel tidak berasosiasi dengan kromosom dan merentang secara langsung dari satu kutub ke kutub yang lain. Pada saat metafase, sentromer-sentromer diduplikasi dan setiap kromatid menjadi kromosom yang independen.

#### **d. Anafase**

Anafase dimulai secara tiba-tiba ketika pasangan kinetokor pada masing-masing kromatid terdorong secara perlahan-lahan menuju kutub spindel. Jadi anafase ditandai dengan terjadinya

pemisahan kromatid sister membentuk anak kromosom yang bergerak menuju kutub spindle yang berlawanan.

#### **e. Telofase**

Ketika kromatid-kromatid anakan yang terpisah sampai di kutub, benang-benang kinetokor lenyap, benang-benang kumparan kembali memanjang dan selut inti yang baru kembali terbentuk di sekitar masing-masing kromatid anakan. Kromosom nukleus tampak kembali dan mitosis berakhir.

#### **Sitokinesis Pada Sel Hewan**

Sitoplasma terbagi oleh suatu proses yang dikenal sebagai cleavage yang biasanya dimulai pada akhir anafase dan telofase. Membran pada bagian tengah sel tertarik ke dalam membentuk alur cleavage yang tegak lurus pada sumbu kumparan di antara nukleus dan secara bertahap menyempit hingga pada akhirnya putus dan membentuk dua sel anak secara terpisah

## **2. Meiosis**

Fertilisasi menandai dimulainya fase diploid pada hewan dan tumbuhan yang berkembang biak secara seksual. Stadium haploid dari siklus seksual dihasilkan dari proses pembelahan inti yang disebut meiosis. Meiosis berlangsung pada sel-sel miosit yang terdapat di dalam jaringan reproduksi pada suatu organisme. Seperti halnya dengan mitosis, meiosis berlangsung setelah fase G<sub>1</sub>, S dan G<sub>2</sub> dari interfase dan menentukan distribusi kromosom yang tepat ke dalam sel-sel anak. Berbeda dengan mitosis, sebab meiosis mencakup dua siklus pembelahan berturut-turut dan menghasilkan 4 sel anak.

Pembelahan pertama dari meiosis disebut pembelahan reduksi. Meiosis pertama mengubah inti dari suatu miosit yang mengandung kromosom diploid menjadi inti haploid yang mengandung kromosom n. Jumlah kromosom direduksi jika pasangan kromosom homolog terpisah. Pembelahan kedua disebut **equation division** atau meiosis kedua. Meiosis kedua mengubah dua hasil dari pembelahan meiosis pertama menjadi 4 inti haploid.

Pembelahan meiosis merupakan suatu bentuk pembelahan inti yang penting pada organisme yang berkembang biak secara seksual. Meiosis berlangsung pada organisme eukariotik yang mengandung

jumlah kromosom diploid ( $2n$ ). Kedua set kromosom yang berpasangan tersebut dinamakan kromosom homolog. Telah diketahui bahwa manusia mengandung 46 kromosom atau 23 kromosom homolog (pada manusia  $n=23$ ). Ke 46 kromosom yang terdapat pada zigot dibentuk pada saat fertilisasi yang diturunkan dari sel sperma dan sel telur dari kedua induknya (paternal dan maternal). Sel sperma dan sel telur mengandung setengah jumlah kromosom induknya dan dinamakan haploid.

## 2.1 Meiosis Pertama

### Profase I

Profase pertama merupakan fase yang sangat kompleks dari meiosis. Terdiri atas 5 fase yaitu leptonema (*leptoten*), Zygonema (*zygoten*), Pachynema (*pachyten*), diplonema (*diploten*), dan diakinesis.

- **Leptonema:** Stadium ini ditandai dengan dimulainya kondensasi kromosom, setiap kromosom tampak terdiri atas dua kromatid.
- **Zygonema:** Stadium ini ditandai dengan adanya kromosom homolog yang berpasangan. Kejadian ini disebut sinapsis. Setiap unit terdiri atas dua synap, dan kromosom homolog yang telah terduplikasi disebut bivalen atau tetrad. Pada fase ini terbentuk kompleks sinaptonema di mana terjadi crossing over. Crossing over dihasilkan dari pembelahan oleh endonuklease dari DNA sesuai posisi dari dua kromatid nonsister yang diikuti dengan transposisi dan penggabungan kembali ujung-ujung bebas dari rantai kromosom homolog. Hasil dari crossing over adalah kombinasi gen-gen baru, dibentuk pada kromosom homolog.
- **Pachynema:** Selama stadium ini, kromatid menjadi sangat jelas sebagai hasil kondensasi yang terus menerus.
- **Diplonema dan diakinesis:** Stadium ini ditandai dengan terjadinya pemisahan kromosom homolog kecuali pada titik dimana chiasmata dibentuk.

## Metafase I

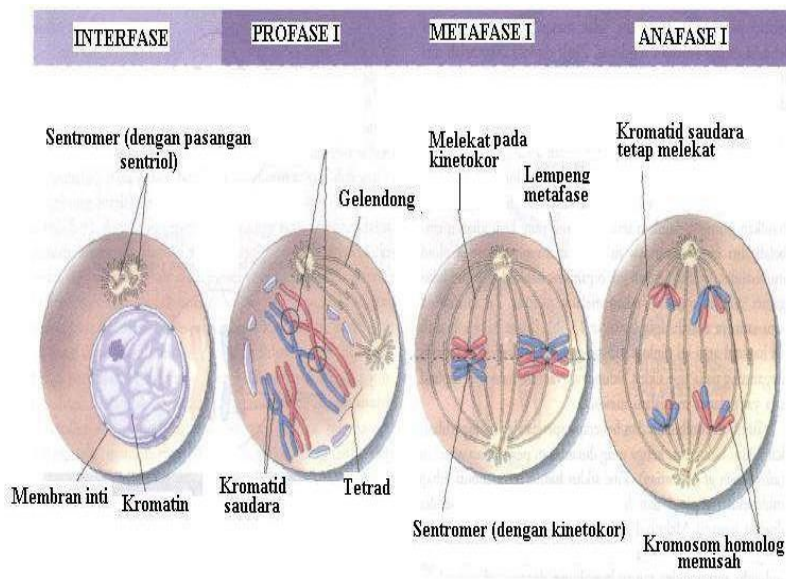
Pada fase ini aparatus spindel terbentuk seperti pada mitosis, dan tetrad berkumpul pada bidang ekuatorial atau bidang pembelahan. Sentromer dari kromosom homolog melekat pada benang-benang spindel yang terbentuk pada kutub sel yang berlawanan.

## Anafase I

Pada fase ini, pasangan kromosom yang homolog bergerak menuju kutub sel yang berlawanan. Karena sentromer yang terdapat pada masing-masing kromosom belum membelah, maka pada setiap kromosom masih tampak dua kromatid yang berlekatan.

## Telofase I

- Telofase I sifatnya bervariasi. Pada beberapa organisme, telofase I sama sekali tidak ada, dalam arti tidak ada pembentukan membran nukleus inti dan miosit terus memasuki tahap meiosis II tanpa interfase. Pada sel yang lain telofase dan interfase sangat singkat.



Gambar 2.4 Tahap-Tahap Pembelahan Meiosis I

Sumber: Campbell dan Mitchell, 2002

## 2.2 Meiosis Kedua

### Profase II

Pada tahapan ini kromosom haploid ( $n$ ) tampak dengan ukuran yang pendek.

### Metafase II

Metafase dua mirip dengan metafase pada pembelahan mitosis. Pasangan kromatid bergerak ke pusat spindel dan melekat pada mikrotubula-mikrotubula.

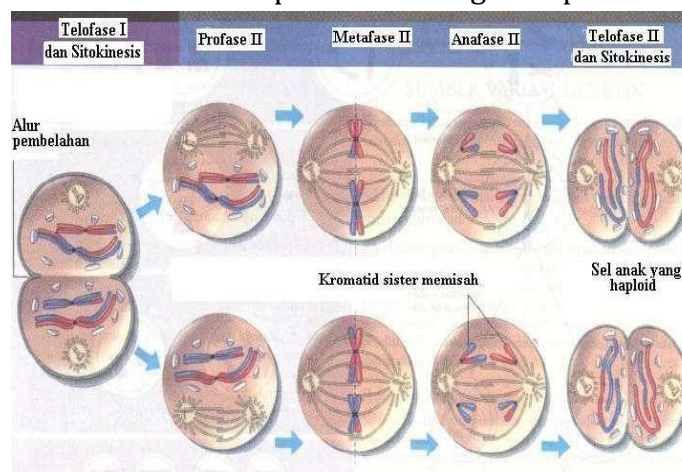
### Anafase II

Mirip dengan anafase pada pembelahan mitosis. Tetapi berbeda dengan anafase I. Pada anafase II kromatid sister terpisah satu sama lain dan bergerak menuju kutub spindel yang berlawanan.

### Telofase II

Telofase II mirip dengan telofase pada pembelahan mitosis. Kelompok-kelompok kromosom yang telah terpisah kembali dibungkus oleh selut inti yang baru berkembang dan kromosom mulai mengalami dekondensasi.

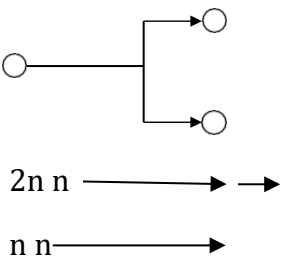
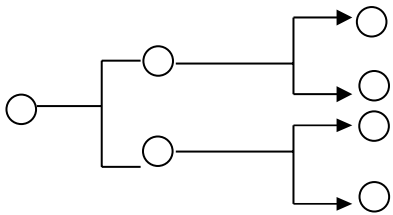
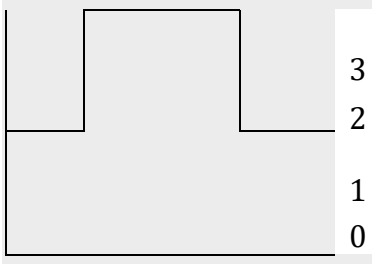
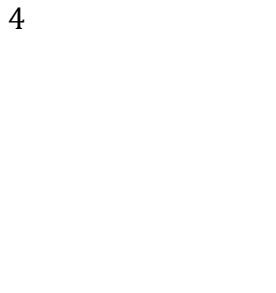
Meiosis menghasilkan 4 sel haploid. Umumnya pada hewan dan beberapa tumbuhan tinggi, meiosis yang berlangsung pada jaringan reproduksi diiringi oleh pembelahan sitoplasma. Contoh pembelahan meiosis adalah pembentukan gamet pada manusia.



Gambar 2.5 Tahap-Tahap Pembelahan Meiosis II

Sumber: Campbell dan Mitchell, 2002

**Tabel 2.1 Perbandingan Ciri Utama Mitosis dan Meiosis**

No	MITOSIS	MEIOSIS
1	Berlangsung pada sel somatic	Berlangsung pada sel dalam siklus seksual
2	<p>Jumlah kromosom perinti dipertahankan</p>  <p>2n → 2n</p> <p>n → n</p>	<p>Jumlah kromosom perinti menjadi setengah dari jumlah kromosom sel somatik</p>  <p>2n (diad) → n (monad) → n (monad)</p>
3	1 sel membelah menghasilkan 2 sel anak	1 sel membelah menghasilkan 4 sel anak
4	<p>Satu fase premitosis (fase S) pada setiap</p> <p>Sel yang membelah</p>  <p>G1 S G2 M</p>	<p>Satu fase premitosis (fase S) pada dua sel yang membelah</p> <p>4</p>  <p>G1 S G2 M M</p>

5	Secara normal tidak ada kromosom homolog yang berpasangan	Kromosom homolog bersinapsis sempurna (kromosom homolog berpasangan)
6	Secara normal tidak ada crossing over	Paling sedikit satu crossing over per pasangan kromosom homolog
7	Sentromer membagi pada fase anafase	Sentromer tidak membagi pada fase anafase I, tetapi membagi pada fase anafase II
8	Tidak ada pemisahan kromosom homolog	Kromosom homolog memisah tidak sempurna pada profase I periode diplonema, dan memisah sempurna pada fase anafase I
9	Genotip sel anak identik dengan genotip sel induk	Genotip sel anak bervariasi
10	Sel-sel yang mengalami mitosis dapat diploid atau haploid	Sel-sel yang mengalami meiosis selalu diploid
11	Menjadikan organisme dewasa multiseluler berkembang dari zigot; menghasilkan sel untuk pertumbuhan dan perbaikan jaringan	Menghasilkan gamet, mengurangi jumlah kromosom sebanyak separuhnya dan memperkenalkan variabilitas genetik di antara gamet

## Latihan

1. Jelaskan tahap-tahap berlangsungnya siklus sel!
2. Jelaskan kejadian-kejadian penting selama mitosis dan meiosis!
3. Dapatkah meiosis kedua dipandang sebagai pembelahan mitosis?
4. Jelaskan yang mana dari kedua tahapan meiosis yang dapat dipandang sebagai pembelahan reduksi!
5. Buatlah ilustrasi tentang pembelahan mitosis dengan menggunakan 4 kromosom!
6. Buatlah ilustrasi tentang pembelahan meiosis dengan menggunakan 4 kromosom!
7. Buatlah perbandingan antara pembelahan mitosis dan meiosis!
8. Buatlah sebuah uraian mengenai manfaat pembelahan sel dalam kehidupan sehari-hari!



# BAB III

## ORGAN REPRODUKSI

---

Fungsi kedua dari perkembangan hewan adalah reproduksi atau perkembang biakan. Perkembangbiakan pada organisme bertujuan agar organisme yang bersangkutan dapat melestarikan jenisnya. Pada berbagai jenis hewan, perkembangbiakan dikelompokkan menjadi dua, yaitu perkembang biakan secara aseksual atau vegetatif dan perkembangbiakan secara seksual atau generatif. Pada hewan tingkat tinggi, untuk berlangsungnya reproduksi diperlukan organ-organ reproduksi yang sangat terspesialisasi, baik pada hewan jantan maupun pada hewan betina. Pada hewan betina dewasa seksual dikenal adanya siklus reproduksi, misalnya siklus estrus dan siklus menstruasi.

### A. Perkembangbiakan Secara Aseksual

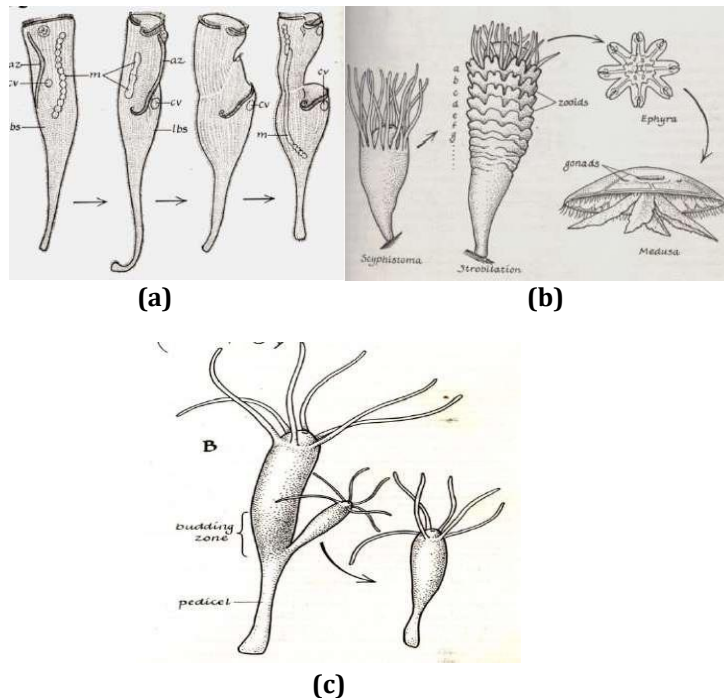
Pada perkembangbiakan secara aseksual, organisme baru yang dihasilkan merupakan hasil pembentukan yang berasal dari individu induk atau sebahagian tubuh individu induk. Cara seperti ini meliputi fission, fragmentasi, pembentukan zooid, strobilasi, pembentukan tunas dan pembentukan gemmula. Fission antara lain dijumpai pada amoeba dan stentor. Fission pada amoeba dan stentor terjadi dengan cara pembelahan mitosis dan replikasi struktur-struktur internal. Seluruh tubuh hewan turut dalam kegiatan reproduksi.

Fragmentasi dapat dijumpai pada annelida dan *oscillatoria*. Pada annelida, satu individu akan terbagi menjadi dua individu, dan selanjutnya kedua individu tersebut akan membentuk segmen-segmen yang baru. Zooid atau calon individu baru dapat dijumpai pada planaria. Calon individu baru telah terbentuk sebelum dilepaskan. Proses ini hampir sama dengan fission.

Strobilasi dapat dijumpai pada Scyphomedusa, di mana bentuk polip dapat membentuk zooid secara aseksual, kemudian zooid yang matang dilepaskan dan berkembang menjadi ephyrae. Ephyrae

selanjutnya berkembang menjadi medusa yang memiliki gonad sehingga dapat bereproduksi secara seksual menghasilkan larva planula. Larva planula selanjutnya berkembang menjadi polip yang baru.

Pembentukan tunas dapat dijumpai pada hydra. Tunas terbentuk pada dinding tubuh pada daerah tertentu adalah zona pertunasan, dan secara fungsional sama dengan daerah meristematik pada tumbuhan.



Gambar 3.1 Contoh-Contoh Perkembangbiakan Aseksual (a) Pembelahan, (b) Strobilasi, dan (c) Pembentukan Tunas  
Sumber: Spratt, 1971

## B. Perkembangbiakan Secara Seksual

Perkembangbiakan secara seksual adalah perkembang biakan yang melibatkan dua individu yang berbeda jenis kelaminnya atau melibatkan fusi dua buah gamet yang berbeda, misalnya sperma dan telur. Beberapa ciri-ciri umum dari perkembang biakan yang berlangsung secara seksual adalah:

1. Individu baru yang dihasilkan melibatkan fusi dua sel kelamin yang berbeda.
2. Individu baru yang dihasilkan bervariasi sebagai akibat adanya rekombinasi genetik pada pembentukan gamet pada fase profase meiosis pertama, dan adanya fertilisasi yang melibatkan persilangan antara materi genetik dari kedua parental.
3. Pada organisme dimorfik, kedua parental yang berbeda jenis kelaminnya mutlak dibutuhkan, sedangkan pada organisme hermaphrodit adalah relatif.
4. Umumnya berlangsung pada organisme yang telah dewasa secara seksual, kecuali pada organisme tertentu seperti *Ambystoma americana*, sebangsa salamander, di mana perkembangbiakan berlangsung pada stadium larva. Peristiwa ini disebut neoteni.
5. Vertebrata tinggi pada umumnya membutuhkan alat-alat reproduksi khusus yang sangat terspesialisasi, adalah alat reproduksi utama berupa gonad dan alat reproduksi tambahan berupa saluran-saluran reproduksi dan kelenjar-kelenjar aksesori lainnya.

Untuk terbentuknya suatu zigot, diperlukan penggabungan dua gamet pada saat fertilisasi. Dikenal ada tiga tipe penggabungan gamet adalah:

1. Isogami, adalah persatuan dua buah gamet yang secara morfologis sama, tetapi secara fisiologis dan genetik berbeda, misalnya pada beberapa jenis protozoa.
2. Heterogami atau anisogami, adalah persatuan dua gamet yang secara morfologis berbeda, adalah mikrogamet yang bersifat motil dan makrogamet yang bersifat non motil.
3. Oogami, adalah persatuan antara dua gamet berupa sperma dan sel telur.

Beberapa variasi dalam reproduksi seksual antara lain adalah ginogenesis, neoteni dan poliembryoni. Neoteni adalah reproduksi yang berlangsung pada stadium larva misalnya larva pada salamander tertentu (*Ambystoma americana*). Larvanya disebut larva dewasa atau adult larva.

Ginogenesis adalah cara reproduksi di mana tidak melibatkan peleburan antara dua materi genetik induk, misalnya pada ikan-ikan tertentu. Sperma hanya diperlukan untuk merangsang pertumbuhan embrio, jadi yang dihasilkan adalah individu betina terus.

Poliembrioni adalah cara reproduksi di mana dalam satu kali pembiakan dihasilkan lebih dari satu anak misalnya pada *Armadillo quadruplets* yang ada di Mexico, dimana secara alami menghasilkan 4 anak dari satu zigot.

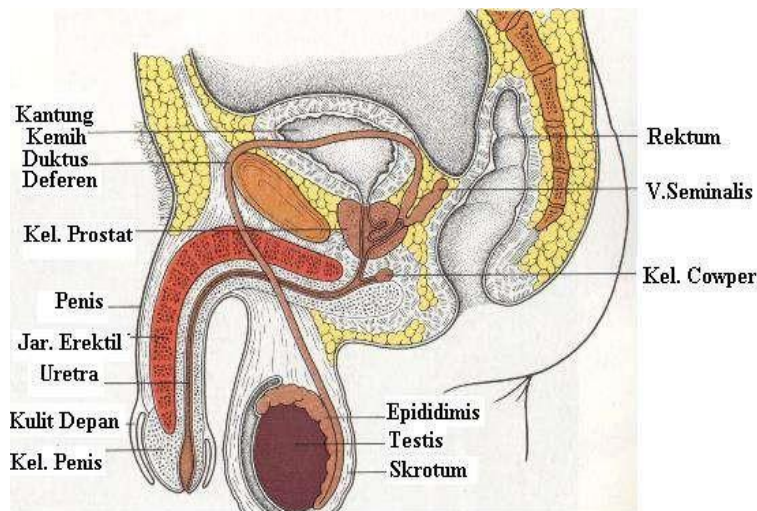
### C. Organ-Organ Reproduksi

Organ-organ reproduksi secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu alat reproduksi utama atau gonad dan alat reproduksi tambahan. Gonad terdiri atas testis dan ovarium, sedangkan alat reproduksi tambahan terdiri atas saluran-saluran reproduksi beserta kelenjar-kelenjar yang berhubungan dengannya.

#### 1. Organ Reproduksi Jantan

Secara umum organ reproduksi pada manusia dan mamalia jantan terdiri atas (i) testis, (ii) epididimis, (iii) vas deferens, (iv) kelenjar aksesori misalnya kelenjar prostat, vesikula seminalis, kelenjar koagulasi, kelenjar bulbourethra (v) urethra, dan (vi) penis.

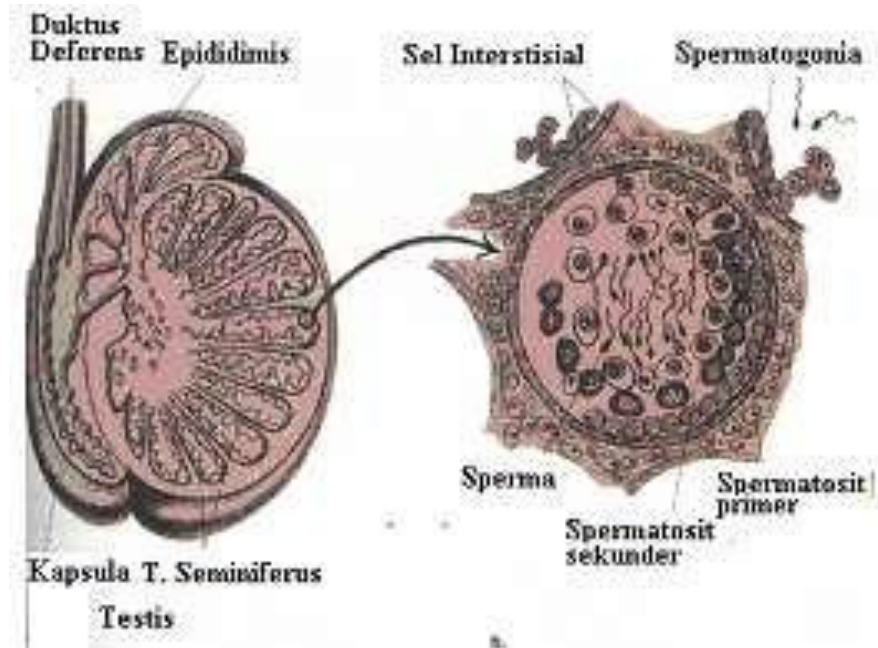
##### a. Testis



Gambar 3.2 Alat-Alat Reproduksi Laki-Laki  
Sumber: Mader, 1988

Pada manusia dan kebanyakan mamalia lain, testis dewasa terletak pada suatu kantung yang disebut skrotum. Skrotum mempunyai peranan penting dalam mempertahankan testis pada suhu di bawah suhu intraabdominal. Tidak semua mamalia memiliki skrotum misalnya pada ikan paus, gajah dan anjing laut. Dengan demikian testis tetap berada di dalam rongga perut.

Testis (gonad jantan) merupakan organ reproduksi utama pada jantan, dan biasanya berpasangan. Testis dikelilingi oleh jaringan ikat yang disebut tunika albuginea. Testis umumnya berbentuk bulat lonjong. Pada manusia testis terbagi menjadi ruang-ruang kecil yang disebut lobulus testis, sedangkan pada tikus dan mencit, testisnya hanya terdiri atas satu ruangan saja. Fungsi utama dari testis adalah menghasilkan spermatozoa dan hormon-hormon reproduksi jantan, utamanya andro-gen. Di dalam testis terdapat saluran-saluran halus yang melilit-lilit yang disebut tubulus seminiferus dimana spermatogenesis berlangsung.



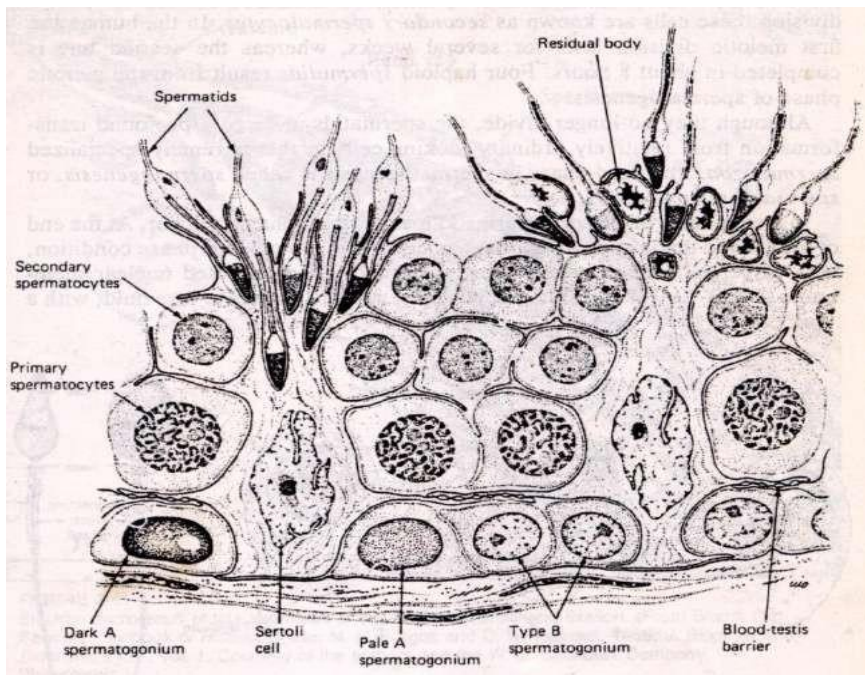
Gambar 3.3 Struktur Testis Manusia  
Sumber: Starr dan Taggar, 1984

Ruang-ruang di antara tubulus seminiferus diisi oleh jaringan interstitial yang kaya dengan pembuluh darah dan limf. Jaringan

interstitial ini mengandung sel-sel leydig yang berasal dari mesenkim. Sel-sel leydig bekerja mensintesis hormon testosteron dari prekursor kolesterol.

### **b. Tubulus Seminiferus**

Tubulus seminiferus terdiri atas (i) tunika jaringan ikat fibrosa (ii) lamina basalis, dan (iii) epitel germinativum. Epitel germinal terdiri atas sel-sel spermatogenik yang terdiri atas 4 - 8 lapisan sel yang menempati ruang antara membran basalis dan lumen tubulus. Di antara sel-sel spermatogenik terdapat sel-sel Sertoli. Sel-sel spermatogenik terdiri atas spermatogonia, spermatosit, spermatid dan spermatozoa. Sel Sertoli paling sedikit memiliki tiga fungsi adalah (i) penyokong, pelindung dan mengatur nutrisi spermatozoa yang sedang berkembang, (ii) fagositosis dan (iii) sekresi androgen binding protein atau ABP.



Gambar 3.4 Penampang Melintang Tubulus Seminiferus

Sumber: Carlson, 1988

### **c. Epididimis**

Pada manusia panjang epididimis berkisar 4 - 6 m. Saluran ini sangat berkelok-kelok. Epididimis menghubungkan antara testis

dengan vas deferens, terdiri atas 3 daerah utama adalah (i) caput, (ii) korpus, dan (iii) cauda. Caput adalah bagian depan atau kepala yang menampung cairan testis yang berisi spermatozoa lewat ductuli efferentes. Corpus adalah bagian tengah atau badan, melekat pada bagian samping testis, sedangkan cauda adalah bagian ujung atau ekor yang berhubungan dengan vas deferens. Epididimis dibatasi oleh jaringan ikat pada bagian luar, lapisan tipis otot polos di tengah dan epitel berlapis banyak palsu di bagian dalam yang membatasi lumen epididimis. Secara umum epididimis berfungsi untuk (i) absorpsi, (i) maturasi, (iii) transportasi, (iv) penyimpanan spermatozoa dan (v) eliminasi sperma yang tersimpan terlalu lama dan tidak diejakulasi. Pada manusia, testis menghasilkan cairan 20 - 40 ml/hari. Cairan tersebut akan diabsorpsi kembali oleh epididimis bagian caput sebanyak 98%. Mekanisme eliminasi spermatozoa pada epididimis adalah (i) mengalami fragmentasi, lalu diabsorpsi oleh epitel, (ii) difagositosis oleh sel darah putih, dan (iii) disalurkan ke urethra yang akan keluar bersama dengan urine.

#### **d. Kelenjar-kelenjar aksesori dan penis**

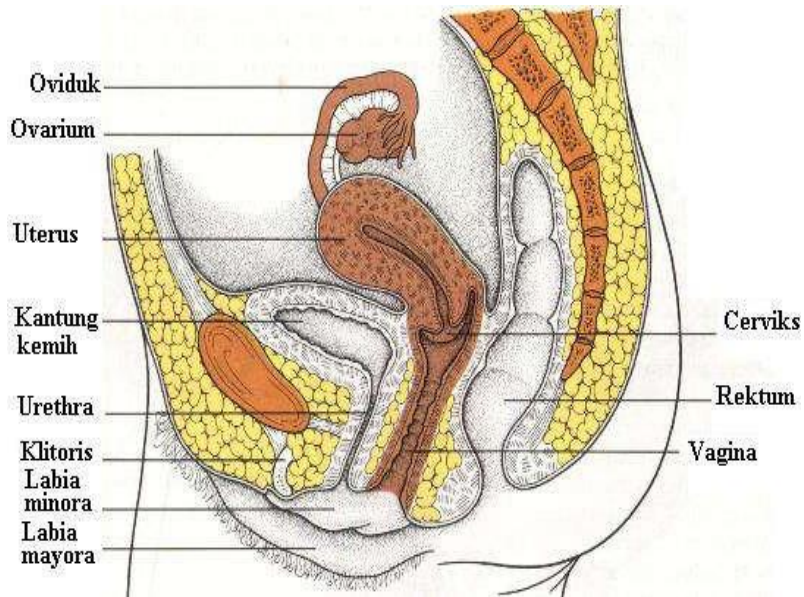
Kelenjar-kelenjar aksesori terdiri atas vesikula seminalis, kelenjar prostat dan kelenjar bulbo uretra. Ketiga kelenjar tersebut terdapat dalam keadaan berpasangan.

Penis terdiri atas 3 massa silindris jaringan erektile dan uretra. Bagian luarnya diliputi oleh kulit. Dua di antara selinder tersebut adalah korpora kavernosa penis yang terletak pada bagian dorsal dan yang satunya terletak di bagian ventral dan disebut korpus kavernosum uretra dan mengelilingi uretra. Pada bagian ujungnya mengalamipelebaran membentuk glans penis.

## **2. Organ reproduksi betina**

Pada mamalia, termasuk manusia organ reproduksi betina biasanya terdiri atas 2 buah ovarium, 2 buah oviduk, uterus, vagina dan genitalia eksterna.





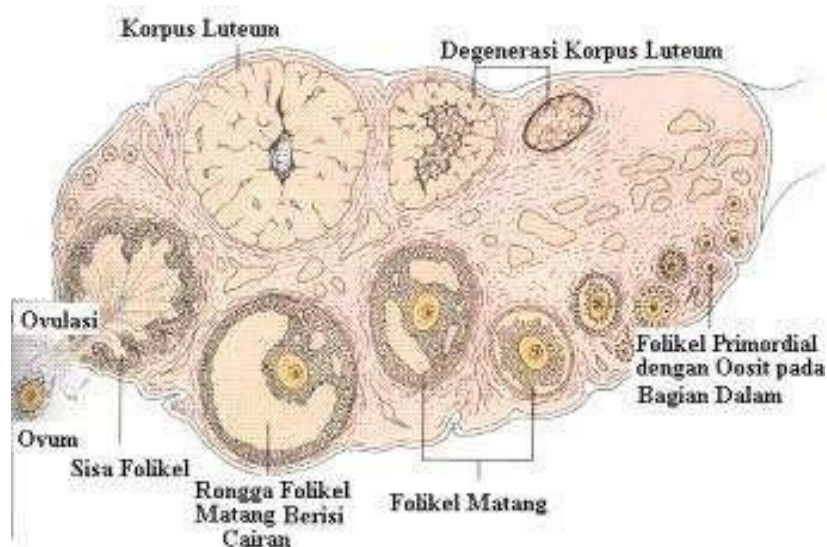
Gambar 3.5 Alat-Alat Reproduksi pada Wanita  
Sumber: Mader, 1988

Secara umum dikenal ada tiga jenis ovarium adalah (i) ovarium yang berbentuk kantung, dan rongga ovarium (ovocoel) langsung berhubungan dengan oviduct. Telur yang matang diovolasikan langsung ke dalam ovocoel. Tipe ovarium ini dijumpai pada teleostei (ii) Ovarium berongga, namun telur yang masak diovolasikan ke coelom, dan (iii) ovarium berbentuk pipih misalnya pada mamalia.

#### **a. Ovarium**

Pada manusia, ovarium berbentuk amandel dengan garis tengah hingga 5 cm, dan lebar 1,5- 3 cm dan tebal berkisar 0,6 sampai 1,5 cm. terdiri atas dua daerah utama adalah medula dan korteks. Medula mengandung beberapa pembuluh darah dan sedikit jaringan ikat longgar. Korteks terutama mengandung folikel ovarium dengan stadium perkembangan yang berbeda. Folikel ovarium terdiri atas oosit yang dikelilingi oleh sel-sel folikel. Folikel ovarium tertanam di dalam stroma korteks. Dapat dibedakan atas tiga jenis adalah (i) folikel-folikel primordial, (ii) folikel-folikel yang sedang tumbuh, terdiri atas folikel primer, folikel sekunder dan folikel tersier, (iii) folikel Graaf.





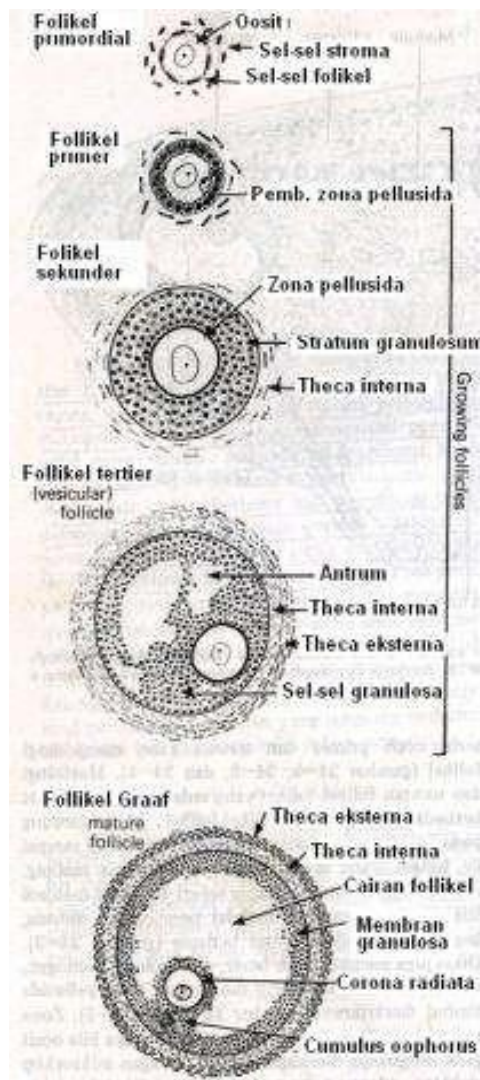
Gambar 3.6 Ovarium pada Wanita  
Sumber: Start dan taggart, 19

Folikel-folikel ovarium dapat dibedakan atas tiga jenis yaitu (i) folikel primordial, (ii) folikel yang sedang tumbuh, dan (iii) folikel de Graff. Beberapa ahli histologi membagi folikel-folikel yang sedang tumbuh menjadi tiga kategori, yaitu (i) folikel primer, (ii) folikel sekunder, dan (iii) folikel tersier. Folikel primer diliputi oleh sel-sel granulosa berbentuk kubus. Folikel sekunder memiliki lapisan padat yang dibentuk dari sel-sel granulosa. Folikel tersier atau folikel vaskulermemiliki banyak rongga-rongga yang berisi cairan di antara sel-sel granulosa.

Jumlah total folikel di dalam ovarium wanita dewasa muda normal diperkirakan 400.000. Akan tetapi sebagian besar folikel tersebut menghilang akibat proses degenerasi atau atresia selama masa reproduksi. Atresi folikel berlangsung sebelum lahir dan terus berlangsung sepanjang masa reproduktif. Atresia dapat terjadi pada setiap jenis folikel. Pada wanita, umumnya hanya mengevulasikan satu oosit pada setiap kali siklus menstruasi. Masa reproduksi wanita berkisar 30-40 tahun. Jumlah total oosit yang dilepaskan berkisar 400 buah.

## Folikel Primordial

Folikel primordial merupakan folikel utama yang dijumpai sebelum lahir. Setiap folikel terdiri atas oosit primer dan diliputi oleh satu lapisan sel-sel folikel pipih. Folikel primordial mengandung oosit dengan diameter 40  $\mu\text{m}$ , inti besar dan letaknya agak eksentrik, memiliki kromatin halus yang tersebar, dan nukleusnya besar. Segera setelah oogonium menjadi oosit primer, mereka memasuki pembelahan meiosis pertama stadium profase kemudian berhenti.



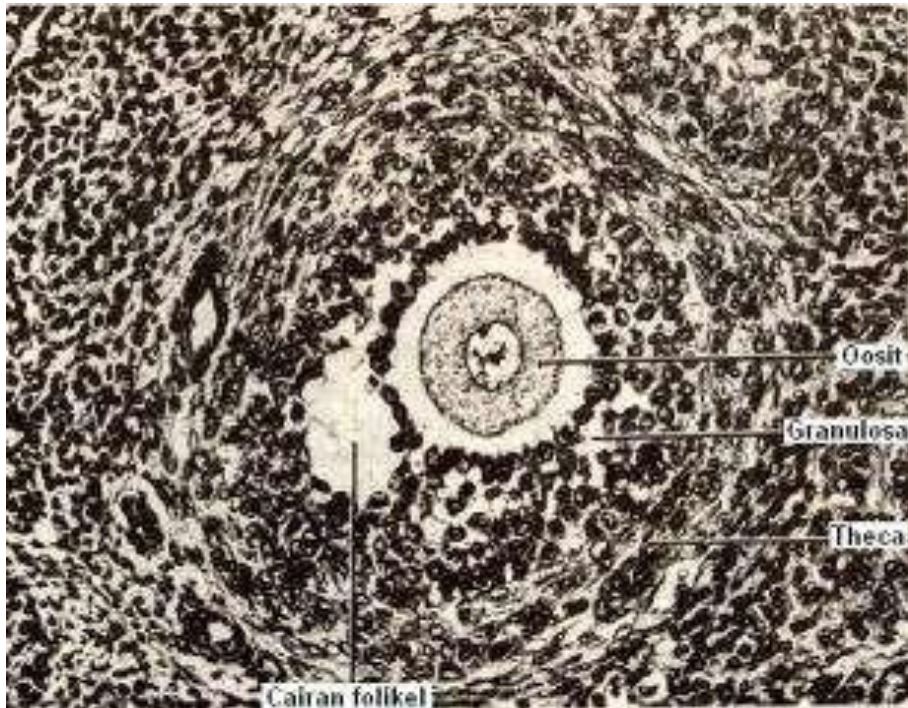
Gambar 3.7 Diagram Perkembangan Folikel  
Sumber: Junqueira dan Carneiro, 1982

## **Folikel Pertumbuhan**

Folikel pertumbuhan terutama terdiri atas sel-sel folikel, oosit primer, dan stroma yang mengelilingi folikel. Secara morfologis, folikel pertumbuhan sangat bervariasi tergantung pada tahap perkembangannya. Pada saat oosit tumbuh, selapis sel-sel folikel berubah menjadibentuk kubus. Melalui pembelahan mitosis, selapis sel-sel epitel kubus berubah menjadi berlapis, ukuran oosit menjadi lebih besar dan di sekitarnya terbentuk lapisan aseluler yang dinamakan zona pelusida. Zona pelusida mengandung glikoprotein dan pada bagian dalamnya terdapat filopodia dari sel-sel folikel dan mikrovili dari oosit. Zona pelusida dibentuk oleh oosit, sel-sel folikel atau keduanya.

Perkembangan folikel terus berlangsung. Stroma yang mengelilingi folikel membentuk lapisan theca folikel. Lapisan Theca selanjutnya mengalami diferensiasi dan membentuk theca interna dan theca eksterna. Sel-sel yang menyusun theca interna berbentuk kubus dan kaya dengan pembuluh darah. Theca eksterna terutama tersusun atas jaringan penyambung dan juga kaya dengan pembuluh darah. Batas antara theca interna dan theca eksterna tidak jelas, demikian pula batas antara theca eksterna dengan stroma ovarium. Batas antara theca interna dengan sel-sel granulosa jelas karena sel-selnya berbeda secaramorfologis dan di antara mereka terdapat lamina basalis yang tebal.

Selama berlangsungnya pertumbuhan folikel, terjadi penimbunan cairan yang kaya dengan asam hialuronat (cairan folikel). Rongga-rongga yang mengandung cairan bersatu dan akhirnya hanya terbentuk satu rongga besar yang disebut antrum folikel. Sel-sel pada lapisan granulosa lebih banyak pada suatu tempat pada dinding folikel, membentuk massa sel padat yang disebut kumulus oophorus dan melingkupi oosit. Kumulus oophorus menonjol ke bagian dalam antrum, setelah itu oosit tidak mengalami pertumbuhan lagi.

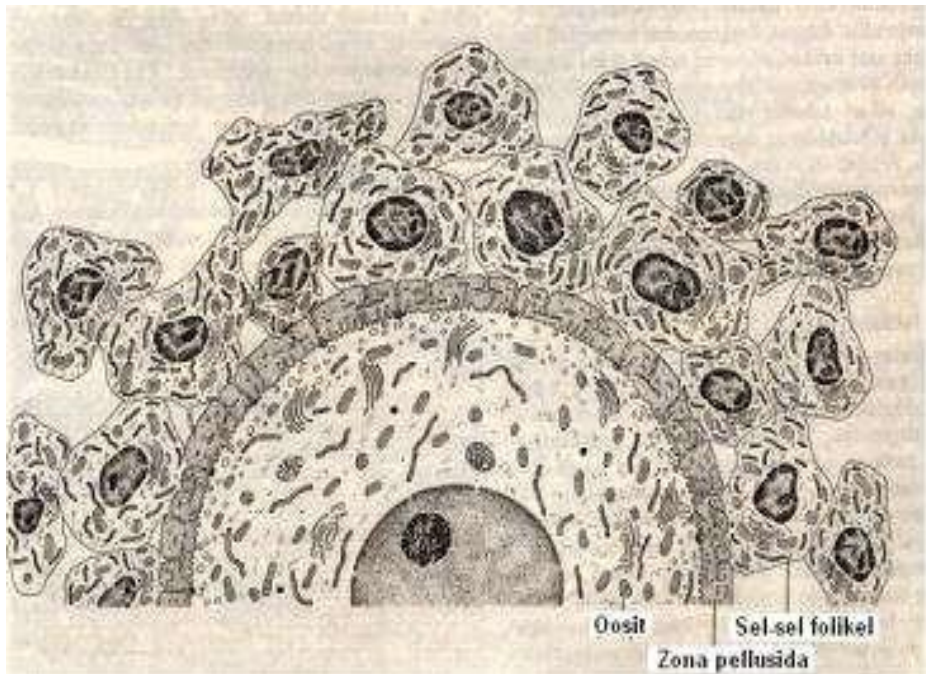


Gambar 3.8 Folikel Ovarium yang Sedang Berkembang  
 Sumber: Junqueira dan Carneiro, 1982

### **Folikel-Folikel Matang**

Diameter folikel berkisar 1 cm dan dapat dilihat adanya penimbunan cairan, rongga folikel bertambah besar dan oosit melekat pada dinding folikel dengan perantara pedikel yang dibentuk oleh sel-sel granulosa. Sel-sel granulosa tidak bertambah banyak sebanding dengan penimbunan cairan, lapisan granulosa menjadi lebih tipis. Sel-sel granulosa membentuk lapisan dan mengelilingi oosit. Lapisan tersebut dinamakan corona radiata yang menyertai oosit pada saat berlangsungnya ovulasi. Corona radiata tetap ada pada saat sperma membuahi oosit dan untuk beberapa saat tetap ada pada saat ovum bergerak melalui saluran telur.



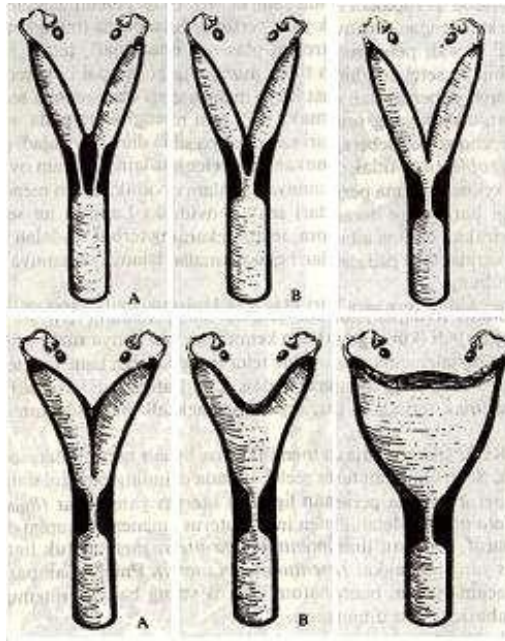


Gambar 3.9 Ultra Struktur Oosit, Sel-sel Folikel dan Zona Pelusida  
(Sumber: Junqueira dan Carneiro, 1982)

## b. Oviduct dan uterus

Oviduct atau tuba fallopi pada manusia panjangnya sekitar 12 cm. Struktur histologinya terdiri atas lapisan mukosa, lapisan otot dan lapisan serosa.

Uterus merupakan merupakan bagian saluran reproduksi yang merupakan tempat tumbuh dan berkembangnya embrio. Secara umum dikenal tiga jenis uterus adalah tipe bipartit, tipe bicornua, dan tipe simpleks. Uterus bipartit merupakan uterus yang memiliki dua ruangan di dalam badan uterus. Uterus bicornua adalah uterus yang hanya memiliki satu ruangan saja. Uterus bipartit dan bicornua sama-sama memiliki dua tanduk uterus. Pada primata, termasuk manusia, uterusnya merupakan uterus tipe simpleks, di mana ovuductnya langsung berhubungan dengan badan uterus.



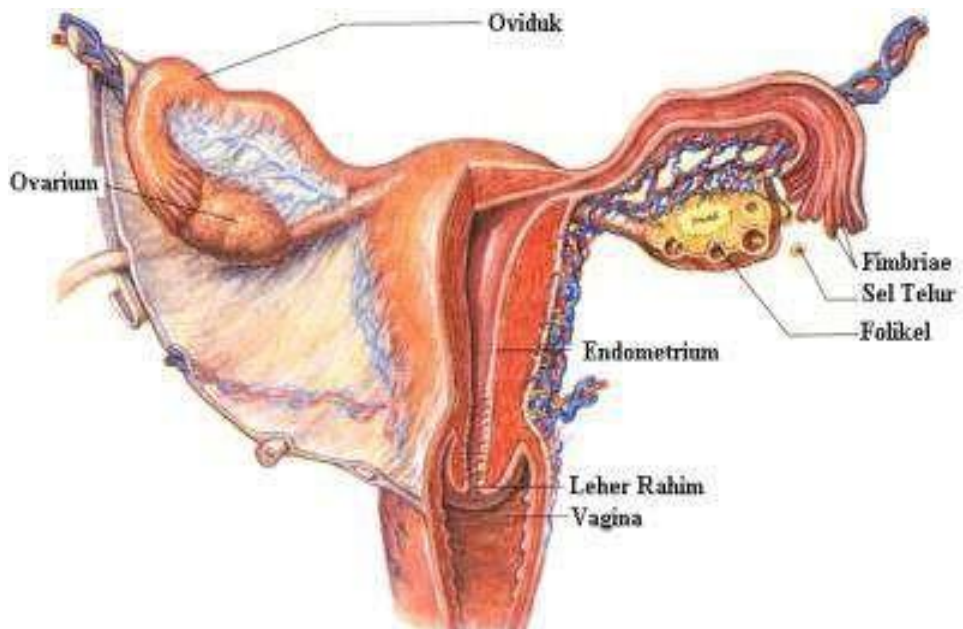
Gambar 3.10 Berbagai Jenis Uterus pada Hewan dan Manusia (1) Dupleks, (2) Bikornua, (3) Bipartite, dan (4) Simpleks.

Sumber: Nalbandov, 1990

Pada manusia, dinding uterus terdiri atas tiga lapis, adalah (i) perimetrium yang merupakan lapisan luar serosa dan terdiri atas jaringan ikat, miometrium di tengah yang terdiri atas otot polos, dan (iii) endometrium atau mukosa uterus. Tubuh uterus atau korpus melengkung ke depan dan bersandar pada vesikula urinaria. Fundus merupakan bagian korpus yang menjulur ke kranial di atas muara tuba fallopi. Ujung kaudal uterus yang sempit disebut cervix atau leher rahim, yang menghubungkan uterus dengan vagina dengan perantaraan uteri eksterna.

Miometrium merupakan lapisan yang paling tebal yang terdiri atas jaringan otot polos yang dipisahkan oleh jaringan ikat. Selama kehamilan, miometrium mengalami pertumbuhan sebagai akibat terjadinya peningkatan jumlah serabut otot polos melalui pembelahan dari sel-sel otot polos yang telah ada dan melalui rediferensiasi sel-sel jaringan ikat intersel menjadi serabut-serabut otot baru serta hipertrofi serabut-serabut otot polos yang telah ada. Setelah bayi lahir, miometrium mengalami regresi hingga mencapai ukuran

sebelumnya.



Gambar 3.11 Uterus dan Bagian-Bagiannya

Sumber: Start dan Taggart, 1984

Endometrium terdiri atas epitel dan lamina propria yang mengandung kelenjar-kelenjar tubuler sederhana. Sel-sel epitel terdiri atas sel-sel selapis silindris yang bercampur dengan sel-sel bersilia dan sel-sel sekretoris. Endometrium terdiri atas dua zona adalah (i) zona fungsionalis yang merupakan bagian yang terbuang dan diganti kembali selama siklus menstruasi, dan (ii) zona basalis yang merupakan bagian endometrium yang tersisa selama menstruasi dan selanjutnya menyediakan epitel dan lamina propria baru untuk pembaharuan endometrium.

#### **D. Siklus Reproduksi**

Pada hewan betina yang dewasa seksual dikenal adanya siklus reproduksi. Siklus reproduksi adalah siklus seksual yang terdapat pada individu betina dewasa seksual dan tidak hamil yang meliputi perubahan-perubahan siklik pada organ-organ reproduksi tertentu misalnya ovarium, uterus, dan vagina di bawah pengendalian hormon reproduksi. Siklus reproduksi meliputi antara lain siklus estrus, siklus ovarium, dan siklus menstruasi.

## 1. Siklus Estrus

Pada kebanyakan vertebrata dengan pengecualian primata, kemauan menerima hewan-hewan jantan terbatas selama masa yang disebut estrus atau birahi. Selama estrus, hewan-hewan betina secara fisiologis dan psikologis dipersiapkan untuk menerima hewan-hewan jantan, dan perubahan-perubahan struktural terjadi di dalam organ aksesori seks betina. Hewan-hewan monoestrus menyelesaikan satu siklus estrus setiap tahun, sedangkan hewan-hewan poliestrus menyelesaikan dua atau lebih siklus estrus setiap tahun apabila tidak diganggu dengan kehamilan.

Siklus estrus adalah siklus reproduksi yang berlangsung pada hewan non primata betina dewasa seksual yang tidak hamil. Pada mencit, siklus estrus terdiri atas beberapa fase utama adalah fase diestrus, fase proestrus, fase estrus, dan fase metestrus.

1. Fase diestrus, adalah fase yang ditandai dengan adanya sel-sel epitel berinti dalam jumlah yang sangat sedikit dan leukosit dalam jumlah yang sangat banyak. Lamanya fase ini kurang lebih 55 jam (Billet dan Wild, 1975).
2. Fase proestrus, adalah fase yang ditandai dengan adanya sel-sel epitel berinti berbentuk bulat, leukosit tidak ada atau sangat sedikit. Lamanya fase ini kurang lebih 18 jam (Billet dan Wild, 1975).
3. Fase estrus, adalah fase yang ditandai dengan adanya sel-sel epitel menanduk yang sangat banyak, dan beberapa sel epitel dengan inti yang berdegenerasi. Lamanya fase ini kurang lebih 25 jam (Billet dan Wild, 1975).
4. Fase metaestrus adalah fase yang ditandai dengan adanya sel-sel epitel menanduk dan leukosit yang banyak. Lamanya fase ini kurang lebih 8 jam (Billet dan Wild, 1975).

Fase-fase siklus estrus dapat diidentifikasi dengan membuat apusan vagina. Pengamatan terhadap sitologi apusan vagina dapat dilakukan dengan menggunakan mikroskop cahaya. Aplikasi uji apusan vagina dapat digunakan untuk menentukan aktivitas esterogenik suatu bahan (Elghamry *et al.*, 1963) seperti ditunjukkan pada tabel 3.1

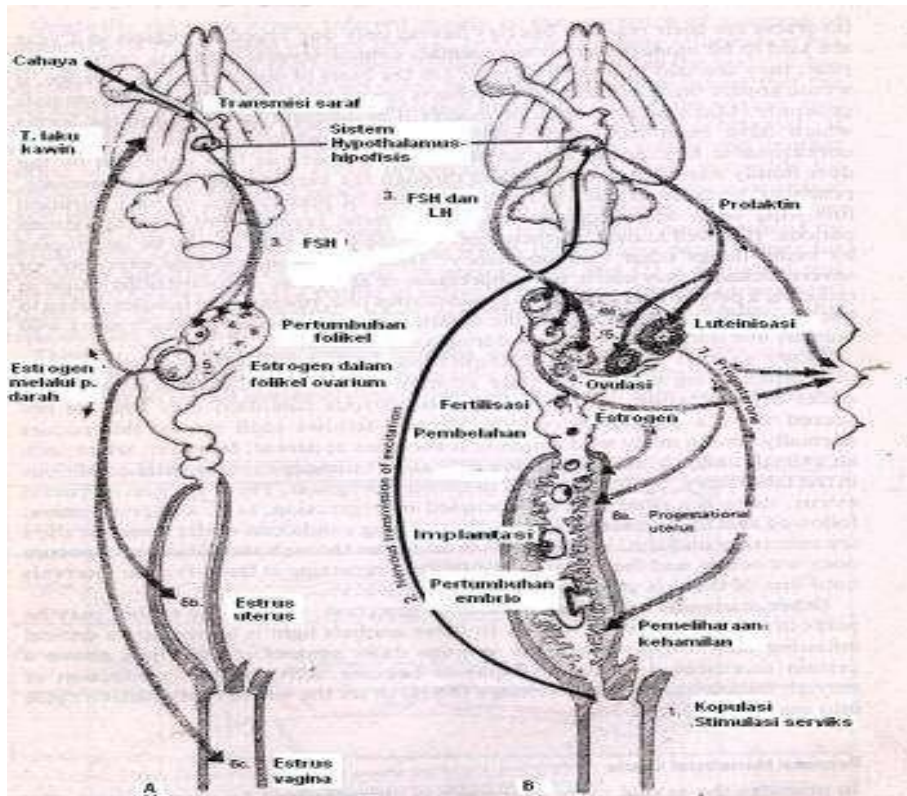


**Tabel 3.1. Aplikasi Uji Apusan Vagina untuk Menentukan Aktivitas Esterogenik Suatu Bahan**

<b>No</b>	<b>Tipe Sel</b>	<b>Skor</b>
<b>1</b>	Sel epitel menanduk	6
<b>2</b>	Sel epitel menanduk dan leukosit	5
<b>3</b>	Sel epitel menanduk dan sel epitel intermediate	5
<b>4</b>	Sel epitel intermediate dan sel epitel menanduk	4
<b>5</b>	Sel epitel menanduk, sel epitel intermediate, dan sel epitel intermediate	4
<b>6</b>	Sel epitel intermediate, sel epitel intermediate, dan sel epitel menanduk	3
<b>7</b>	Sel epitel intermediate, sel epitel menanduk, dan leukosit	3
<b>8</b>	Sel epitel intermediate	3
<b>9</b>	Leukosit, sel epitel intermediate, dan sel epitel menanduk, dan	2
<b>10</b>	Leukosit dan sel epitel intermediate	1
<b>11</b>	Leukosit, sel epitel biasa	0

Sumber: Elghamry *et al*, 1963 dalam Adnan, 1992

Pada saat hewan berada pada fase diestrus, maka pada saat itu hewan-hewan tersebut tidak aktif secara seksual. Semua hewan mamalia betina kecuali primata tingkat tinggi, kopulasi hanya dimungkinkan berlangsung pada periode tertentu di dalam setiap siklus estrusnya. Periode dimana secara psikologis dan fisiologis hewanbetina bersedia menerima pejantan dinamakan birahi atau estrus. Ketika birahi, seekor betina berada pada status psikologis yang berbeda secara jelas dibandingkan dengan sisa periode di luar birahi di dalam siklus. Pejantan biasanya tidak menunjukkan perhatian seksual pada betina di luar masa birahi, dan bila pejantan akan mengawini betina, maka hewan betina akan menolak. siklus estrus, bahkan pada hewan betina yang diovariectomi (Nalbandov, 1990).



Gambar 3.12 Kejadian-Kejadian dalam Siklus Estrus Kelinci (A) Reaksi-Reaksi Utama pada saat Estrus, (B) Kejadian-Kejadian yang Mengiringi Perkawinan  
Sumber: Carlson, 1989

Banyak hewan ketika birahi menjadi sangat aktif. Babi dan sapi pada saat birahi berjalan empat atau lima kali lebih banyak dibandingkan dengan sisa masa siklusnya. Aktivitas yang tinggi ini disebabkan oleh estrogen. Tikus yang berada di dalam kandang berlari secara spontan jauh lebih banyak ketika birahi dibandingkan selama diestrus (Nalbandov, 1990). Siklus estrus berhubungan erat dengan perubahan organ-organ reproduksi yang berlangsung pada hewan betina.

#### a. Vagina

Selama masa estrus atau birahi atau perkembangan folikel yang maksimal, serviks mensekresi lendir dalam jumlah terbesar dan tercair; atau kalau pada manusia terdapat pada saat ovulasi. Lendir serviks memiliki pH 6,6 s/d 7,5 (Pada sapi rata-rata 6,9), dan pH ini kira-kira tetap stabil sepanjang siklus. Sperma tetap dapat hidup

dalam serviks (72 jam pada wanita), jauh lebih baik dibandingkan di dalam vagina yang hanya dalam beberapa jam saja sperma sudah tidak dapat bergerak. pH vagina bersifat alkalis tetapi di antara individu menunjukkan variasi yang luas dan juga terdapat variasi yang luas di dalam siklus. Pada sapi, pH vagina bervariasi antara 7,5 s/d 8,5. Pada semua spesies hewan yang telah diselidiki (sapi, kuda, wanita dan tikus), vagina menjadi lebih alkalis selama fase tidak birahi (diestrus bagi hewan non primat) dan menjadi lebih asam selama birahi. Perubahan pH ini disebabkan oleh estrogen telah dapat ditunjukkan dengan injeksi hormon pada wanita dan sapi yang diovariectomi.

Pada tikus dan mencit, perubahan-perubahan yang berlangsung pada vagina meliputi perubahan histologi epitel yang tergambar pada saat dilakukan pengamatan apusan vagina. Epitel vagina secara siklik dirusak dan dibentuk kembali selama siklus, bervariasi dari bentuk skuama berlapis hingga kuboid rendah. Tipe-tipe epitelium yang mendominasi preparat apusan vagina memberikan petunjuk apakah epitel vagina sedang distimulasi atau tidak oleh estrogen. Perubahan-perubahan histologi vagina terjadi pada semua mamalia betina selama siklus estrus. Teknik preparat apusan vagina sangat bermanfaat terutama pada spesies yang memiliki siklus estrus pendek (mencit dan tikus), karena pada spesies ini, histologi vagina dapat mencerminkan kejadian-kejadian pada ovarium dengan tepat (Nalbandov, 1990). Pada spesies dengan siklus yang lebih panjang seperti wanita dan hewan domestikasi, akan mengalami keterlambatan satu sampai beberapa hari dari perubahan ovarium. Kecuali itu, betina dengan siklus panjang menunjukkan variasi individu yang sangat nyata dan menyebabkan aplikasi teknik apusan vagina kurang tepat dan kurang berguna (Nalbandov, 1990).

## **b. Uterus**

Bila dilakukan pengamatan terhadap perubahan-perubahan histologi dan morfologi uterus selama siklus, maka akan ditemukan bahwa ukuran maupun histologi uterus tidak pernah statis. Perubahan yang sangat nyata terjadi di endometrium dan kelenjarnya. Selama fase folikuler dari siklus estrus, kelenjar uterus sederhana dan lurus

dengan sedikit cabang. Penampilan kelenjar uterus ini menandakan untuk stimulasi estrogen. Selama fase luteal, yakni saat progesteron bereaksi terhadap uterus, endometrium bertambah tebal secara mencolok. Diameter dan panjang kelenjar meningkat secara cepat, menjadi bercabang-vabang dan berkelok-kelok.

### c. Ovarium

Puncak peristiwa siklus estrus adalah pecahnya folikel dan terlepasnya ovum dari ovarium. Pada sapi, 75% mengalami ovulasi 12 s/d 14 jam setelah birahi berakhir; yang lain mengalami ovulasi lebih awal, yaitu 2,5 jam sebelum birahi berakhir. Pada wanita akan mengalami ovulasi kira-kira hari ke 14 dari siklus. Pada beberapa hewan, variasi saat ovulasi tidak jelas. Hampir mayoritas kelinci tanpa memperhatikan bangsanya, ovulasi terjadi 10 s/d 11 jam setelah kopulasi atau sesudah injeksi dengan hormon yang menginduksi ovulasi. Pada tikus dan mencit, panjang siklus dan saat ovulasi sangat konstan pada setiap macam strain (Nalbandov, 1990).

**Tabel 3.2 Panjang Siklus, Lama Birahi, dan Waktu Ovulasi pada Beberapa Hewan**

<b>Hewan</b>	<b>Siklus (Hari)</b>	<b>Birahi</b>	<b>Waktu ovulasi</b>
<b>Kuda</b>	19 - 23	4 - 7 hari	Sehari sebelum sampai sehari sesudah birahi
<b>Sapi</b>	21	13 - 17 jam	12 - 15 jam sesudah akhir birahi
<b>Babi</b>	21	2 - 3 hari	30 - 40 jam sesudah birahi mulai
<b>Domba</b>	16	30 - 36 jam	18 - 26 jam sesudah birahi mulai
<b>Kambing</b>	19	39 jam	9 - 19 jam sesudah birahi mulai
<b>Marmut</b>	16	6-11 jam	10 jam sesudah birahi mulai

<b>Hamster</b>	4	20 jam	8 - 12 jam sesudah birahi mulai
<b>Mencit</b>	4	10 jam	2 - 3 jam sesudah birahi mulai
<b>Tikus</b>	4 - 5	13 atau 15 jam	8 atau 10 jam sesudah birahi mulai
<b>Wanita</b>	28	kontinu	Siklus hari ke 12 sampai 15

Sumber: Nalbandov, 1990

## 2. Siklus Menstruasi

Siklus menstruasi adalah siklus reproduksi yang berlangsung pada hewan primata betina dewasa seksual yang ditandai dengan adanya haid. Pada manusia menstruasi biasanya berakhir pada umur di atas 45 hingga 50 tahun, periode ini biasa disebut periode menopause. Lama siklus menstruasi biasanya kurang lebih 28 hari. Siklus menstruasi biasanya dimulai antara usia 12 dan 15 tahun. Periode ini biasa disebut periode menarch, dan terus berlangsung hingga mencapai periode menopause.

Siklus menstruasi terdiri atas 3 fase adalah (i) fase proliferasi, (ii) fase sekresi, (iii) fase menstruasi. Fase proliferasi merupakan fase di mana kelenjar endometrium mengalami pertumbuhan sebagai akibat berlangsungnya pembelahan sel secara berulang-ulang. Fase ini bertepatan dengan perkembangan folikel ovarium dan pembentukan hormon estrogen yang diproduksi oleh sel-sel folikel. Pada fase ini kadar hormon estrogen di dalam plasma darah meningkat. Pada akhir fase ini *performance* kelenjar tampak lurus, lumen sempit dan sel-sel mulai mengakumulasi glikogen pada daerah di sekitar inti, arteri spiral memanjang dan berkelok-kelok.

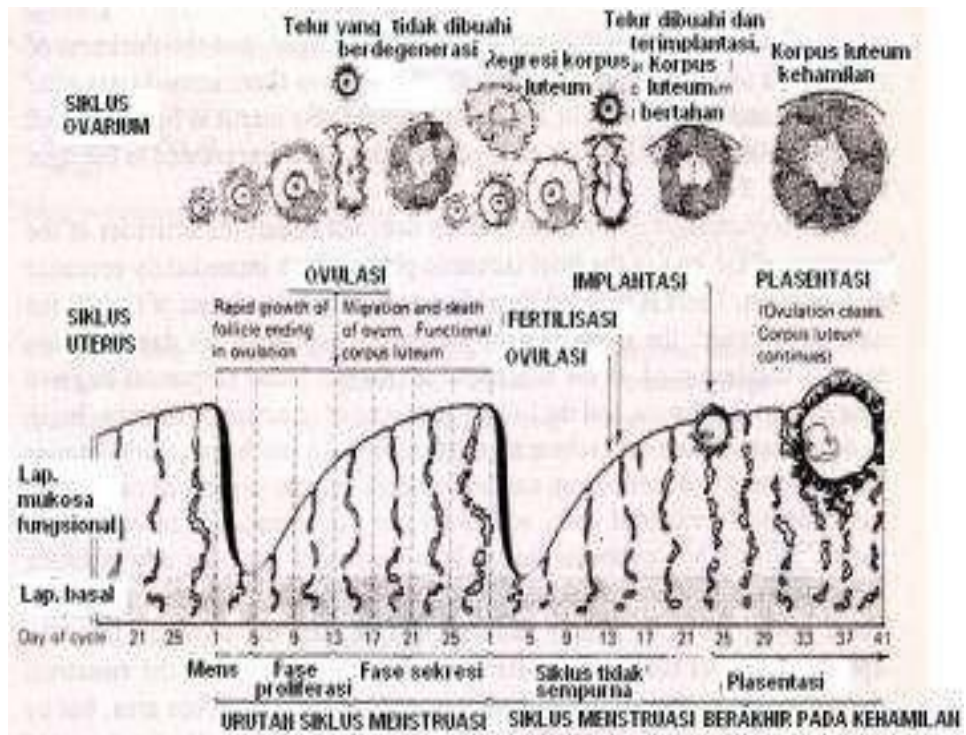
Fase sekresi atau fase luteal dimulai setelah ovulasi dan sangat tergantung pada pembentukan korpus luteum yang mensekresikan progesteron. Progesteron bekerja merangsang sel-sel kelenjar untuk bersekresi. Kelenjar menjadi berkelok-kelok karena lumennya melebar akibat bahan sekret yang terakumulasi di dalamnya. Pada fase ini endometrium mencapai tebal yang maksimum sebagai akibat

penimbunan bahan sekret dan terjadinya oedema stroma. Selama fase ini pembelahan mitosis mulai sangat menurun, sementara itu pemanjangan dan berkelok-keloknya arteri spiralis terus berlangsung dan meluas ke bagian superfisial endometrium.

Fase menstruasi terjadi bila ovum tidak dibuahi sehingga tidak ada implantasi. Tidak adanya implantasi menyebabkan tidak terbentuknya plasenta. Tidak adanya plasenta menyebabkan tidak terbentuknya *human chorionic gonadotrophin* (hCG), sehingga tidak ada yang memelihara korpus luteum. Akibatnya korpus luteum berdegenerasi. Degenerasi korpus luteum menjadi korpus albicans menyebabkan produksi progesteron menurun secara drastis hingga mencapai kadar yang tidak mampu mempertahankan penebalan endometrium. Akibatnya terjadi penyusutan dan peluruhan endometrium (Junqueiro dan Carneiro, 1982).

Pada akhir fase sekresi, dinding arteri spiralis berkontraksi, menutup aliran darah dan menimbulkan iskemia yang mengakibatkan kematian (nekrosis) endometrium. Pada stadium ini, deskuamasi endometrium dan ruptur pembuluh-pembuluh darah di atas konstiksi berlangsung dan perdarahan mulai timbul (Junqueiro dan Carneiro, 1982). Endometrium sebagian lepas. Jumlah yang hilang pada setiap wanita tidak sama, bahkan pada wanita yang sama pada waktu yang berlainan.

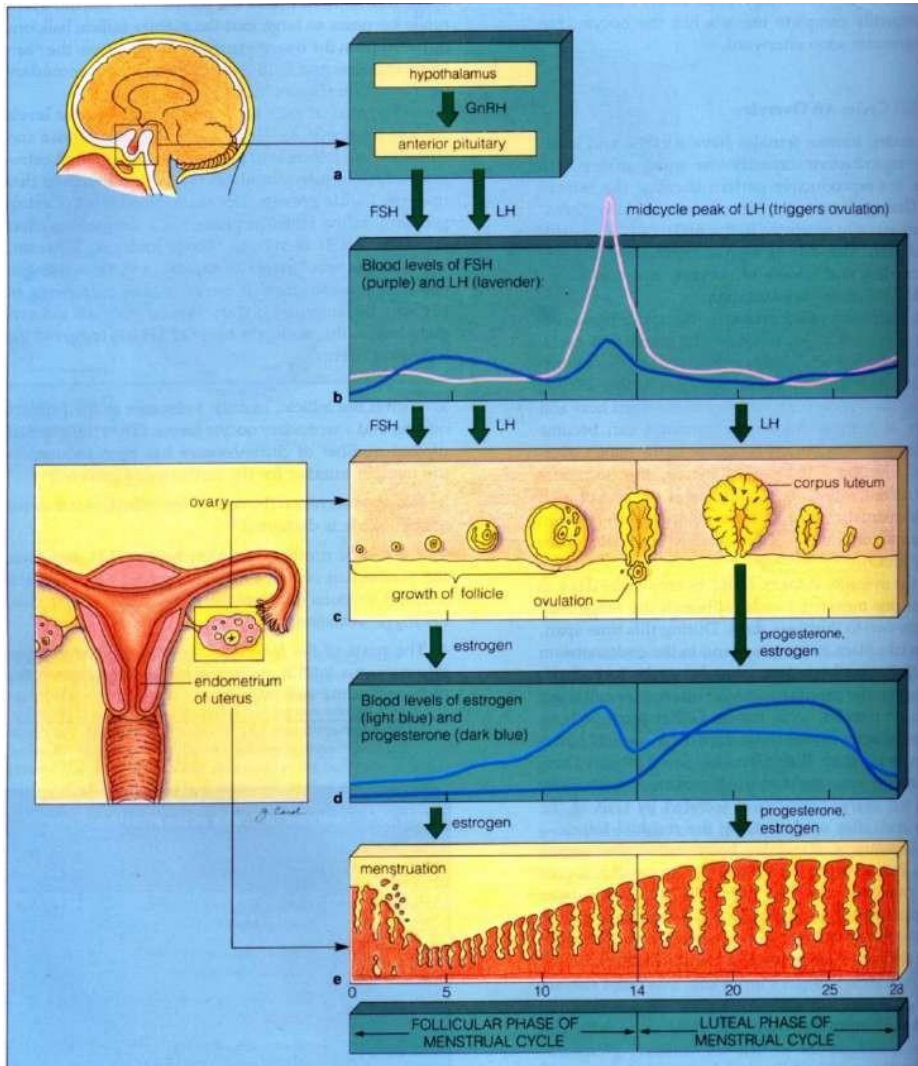
Pada umumnya panjang siklus menstruasi rata-rata berkisar 28 hari. Menstruasi adalah peristiwa keluarnya darah dari vagina. Darah haid berasal dari lumen uterus dan timbul akibat terlepasnya bagian lapisan fungsional dari endometrium yang sebelumnya dipersiapkan untuk menerima sel telur yang telah dibuahi atau zigot. Lama menstruasi berkisar 2 - 6 hari. Jangka waktu dari hari pertama haid sampai hari pertama haid berikutnya disebut daur haid atau siklus menstruasi. Siklus menstruasi dianggap normal apabila berlangsung di antara 21 - 45 hari lamanya, dan dikatakan teratur bilamana perbedaan dalam daur haid yang dialami seorang wanita tidak lebih dari satu minggu lamanya.



Gambar 3.13 Kejadian-Kejadian Penting Selama Siklus Menstruasi  
Sumber: Carlson, 1988

Perubahan-perubahan selama siklus menstruasi sangat erat kaitannya dengan perubahan-perubahan yang berlangsung di dalam ovarium. Perubahan-perubahan yang berlangsung pada ovarium meliputi tiga tahap adalah (i) pra ovulasi (ii) ovulasi, dan (iii) pasca ovulasi. Tahap pra ovulasi adalah jangka waktu antara hari pertama haid sampai saat ovulasi. Lamanya tahap praovulasi dapat berubah-ubah pada seseorang dan berbeda di antara para wanita. Tahap pasca ovulasi adalah jangka waktu antara ovulasi sampai hari pertama haid berikutnya.





Gambar 3.14 Pengontrolan Hormonal Siklus Menstruasi  
Sumber: Start and taggart, 1984

Pada hari-hari terakhir sebelum ovulasi, folikel Graaf bertambah besar dengan cepat di bawah pengaruh FSH dan LH, dan membesar hingga mencapai garis tengah 15 mm. Bertepatan dengan perkembangan terakhir folikel Graaf, oosit primer, di mana pada saat itu masih dalam tahap diktioten melanjutkan dan mengakhiri pembelahan meiosis pertamanya. Sementara itu permukaan ovarium menonjol setempat tanpa pembuluh darah dan disebut stigma. Sebagai akibat kelemahan setempat dan degenerasi dari permukaan



ovarium, cairan folikel merembes keluar melalui stigma yang berangsur-angsur membuka. Bila cairan yang keluar semakin banyak, tekanan di dalam folikel semakin berkurang dan oosit bersama sel cumulus ooforus yang mengelilinginya terlepas dan hanyut meninggalkan ovarium. Beberapa di antara sel-sel cumulus ooforus tersebut kemudian menyusun diri di sekeliling zona pelusida dan membentuk corona radiata. Pada saat oosit dengan cumulus ooforusnya dikeluarkan dari ovarium (ovulasi), pembelahan meiosis pertama berakhir dan oosit sekunder memulai pembelahan meiosis kedua (Sadler, 1988).

Pada beberapa wanita, ovulasi disertai dengan sedikit rasa nyeri, dikenal dengan nama nyeri tengah, karena peristiwa itu normal terjadidekat pertengahan daur menstruasi. Pada umumnya ovulasi juga disertai dengan peningkatan suhu tubuh, suatu peristiwa yang dapat diamati untuk membantu penentuan saat terjadinya ovulasi (Sadler, 1988) Untuk semua siklus menstruasi, lamanya tahap pasca ovulasi tetap sama adalah rata-rata 14 hari, adalah antara 12-16 hari lamanya. Oleh sebab itu panjang pendeknya daur menstruasi tidak ditentukan oleh tahap pasca ovulasi, melainkan oleh tahap pra ovulasi

### **Latihan**

1. Tuliskan 5 macam cara reproduksi aseksual beserta contohnya masing-masing!
2. Tuliskan minimal 4 ciri-ciri reproduksi seksual!
3. Jelaskan tiga macam tipe penggabungan gamet!
4. Jelaskan struktur dan fungsi organ-organ reproduksi pada mamalia jantan!
5. Jelaskan struktur dan fungsi organ-organ reproduksi pada mamalia betina!
6. Jelaskan fase-fase utama siklus estrus!
7. Jelaskan fase-fase utama siklus menstruasi!

# BAB IV

## GAMETOGENESIS

---

Gametogenesis berlangsung di dalam gonad yaitu testis dan ovarium. Gametogenesis adalah proses pembentukan gamet, yaitu sperma dan telur (Gilbert, 1985). Menurut Carlson (1988), gametogenesis adalah suatu proses di mana bakal sel kelamin diubah menjadi sel kelamin yang sangat terspesialisasi sehingga memiliki kemampuan untuk berfusi pada saat fertilisasi, dan selanjutnya menghasilkan organisme baru. gametogenesis melibatkan sejumlah perubahan-perubahan, baik pada kromosom maupun pada sitoplasma. Sejumlah perubahan-perubahan tersebut bertujuan untuk:

- Mengurangi jumlah kromosom menjadi setengah jumlah normal dalam sel somatik melalui pembelahan meiosis. Pembelahan meiosis dimaksudkan agar individu baru yang dihasilkan tidak memiliki jumlah kromosom yang lipat dua kali dari induknya.
- Mengubah bentuk sel-sel kelamin sebagai persiapan untuk pembuahan. Sel kelamin pria mula-mula besar dan bulat, praktis kehilangan semua protoplasmanya dan membentuk kepala, leher dan ekor. Sel benih wanita sebaliknya berangsur-angsur menjadi lebih besar sebagai akibat terjadinya penambahan jumlah sitoplasma. Pada saat mencapai kematangan, oosit mencapai ukuran kira-kira 120 um (Sadler, 1985).

Menurut Carlson (1989), gametogenesis terdiri atas beberapa tahap yaitu (i) asal sel kelamin dan migrasinya ke bakal gonad, (ii) proliferasi sel kelamin di dalam gonad melalui pembelahan mitosis (iii) reduksi jumlah kromosom melalui pembelahan meiosis, dan (iv) pematangan (maturasi) dan diferensiasi gamet menjadi sperma atau ovum yang mampu membuahi atau dibuahi.

### A. Asal dan Migrasi Bakal Sel Kelamin

Sel kelamin berasal dari bakal sel kelamin (BSK) atau *primordial germ cells (PGCs)*. Sekarang sudah jelas bahwa, *PGC*

berasal dari ekstragonadal pada endoderm kantung yolk, dan sel-sel tersebut melalui gerakan amuboid (pada mamalia) atau sistem sirkulasi pada ayam) bermigrasi ke pematang gonad. Di tempat ini untuk pertama kali pengelompokan bakal sel kelamin dapat dilihat secara mikroskopik. **PGC** dapat dibedakan dari jenis sel embrio lainnya berdasarkan pengamatan bentuk morfologinya atau dengan melakukan pewarnaan secara histokimia. Menurut Carlson (1989), **PGC** umumnya:

1. Memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan dengan sel-sel yang ada di sekitarnya.
2. Sitoplasmanya jernih, perbandingan nukleo sitoplasmanya rendah, dan membran inti jelas.
3. Pada mamalia mengandung glikogen dengan kadar yang cukup tinggi.

Analisis embriologis pada beberapa spesies menunjukkan dengan jelas bahwa pembentukan gonad ternyata tergantung pada datangnya **PGC**. Pematang gonad tidak mampu berkembang menjadi gonad apabila migrasi **PGC** ke pematang gonad dihambat (Nalbandov, 1990). **PGC** merangsang dan mengarahkan diferensiasi gonad sesuai dengan tipe kromosom yang dikandungnya, apakah XX atau XY. Adanya kromosom Y maka bakal gonad akan berkembang menjadi testis. Tidak adanya kromosom Y maka bakal gonad akan berkembang menjadi ovarium (Johnson dan Everitt, 1989). Perkembangan dengan pola yang demikian berlaku bagi hewan di mana jantannya adalah heterogametik misalnya mamalia, kebanyakan katak, beberapa jenis ikan, dan insekta diptera (Turner dan Bagnara, 1988). Beberapa jenis hewan memiliki betina dengan sifat heterogametik misalnya pada aves, reptilia, salamander beberapa jenis ikan dan insekta. Genotipe ZZ adalah jantan dan ZW adalah betina.



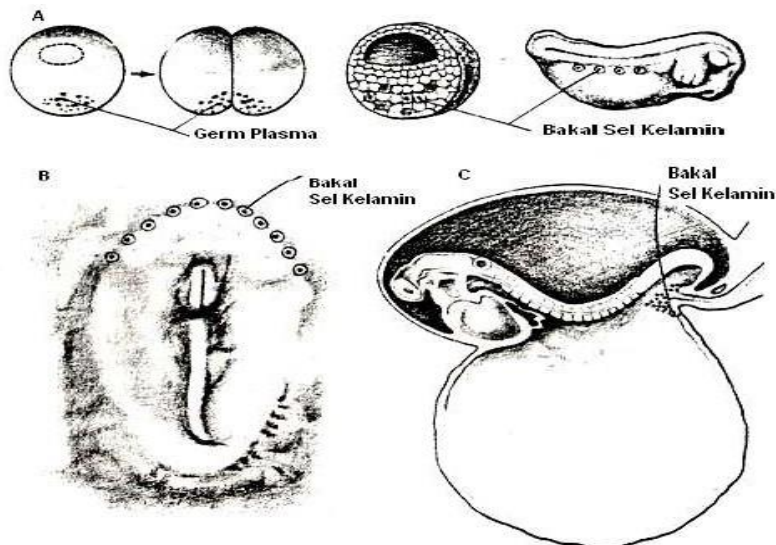
Gambar 4.1 Penampilan PGC pada Embrio Mencit  
Sumber: Browder, 1984

Dahulu ada pendapat bahwa **PGC** berasal dari epitel peritonium yang membungkus gonad. Mula-mula pematang genital berisi dua macam sel yaitu sel-sel yang besar dan sel-sel yang kecil. Pada saat pematang genital membentuk pita-pita seks, maka sel yang besar berdiferensiasi dan kemudian berdegenerasi. Sementara itu sel-sel yang kecil berproliferasi dan berdiferensiasi dan di antaranya membentuk sel kelamin. Anggapan tersebut keliru. Hal tersebut dapat dibuktikan melalui percobaan pada *Xenopus*. Bila pada *Xenopus* stadium neurula **PGC** nya dibuang, maka ia menjadi steril. Akan tetapi bila dilakukan transplantasi **PGC** ke dalamnya, maka ia kembali fertil dan menghasilkan telur (Suhana dan Rafiah, 1982).

## 1. Katak

PGC pertama kali terlihat sebagai granula-granula di dekat kutub vegetatif telur yang telah dibuahi. PGC terlihat bergerak secara lateral dari endoderm saluran pencernaan ke mesenterium dorsal yang menghubungkan saluran pencernaan ke daerah dimana organ-organ mesoderm dibentuk. Melalui mesenterium dorsal, PGC akhirnya mencapai gonad yang sedang berkembang (Carlson, 1989).

## 2. Urodela

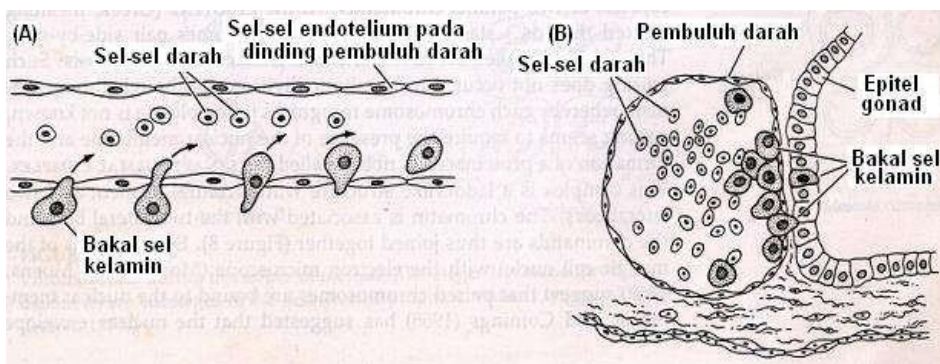


Gambar 4.2 Asal PGC (A) Anura (B), Embrio Ayam (C) dan Embrio Manusia Stadium 16 Somit  
Sumber: Carlson, 1989:74

**PGC** ditemukan pertama kali pada daerah mesoderm yang berinvolusi melalui bibir ventrolateral blastoporus (Sutasurya dan Niewkoop, 1974 dalam Gilbert, 1985). Yang dibentuk melalui pengaruh induksi sel-sel endoderm ventral (Sutasurya dan Niewkoop, 1974 dalam Gilbert, 1985; Sutasurya dan Niewkoop, 1974 dalam Carlson, 1988). Sutasurya, 1975 dalam Suhana dan Rafiah, 1982) telah membuktikan secara meyakinkan bahwa **PGC** pada beberapa jenis urodela dapat dibentuk dari ektoderm setelah diinduksi oleh endoderm. Dalam percobaannya yang menggunakan teknik penandaan dengan timidin H dan dibuat preparat radiofotografi, apabila ektoderm blastula yang telah ditandai dengan isotop dikombinasikan dengan endoderm yang tidak ditandai, maka terbentuk jaringan mesoderm dan **PGC** yang mengandung radioaktif. Sebaliknya apabila rekombinasi terdiri atas endoderm yang ditandai dengan timidin H dan ektoderm yang tidak ditandai, maka terbentuk **PGC** yang tidak mengandung radioaktif. Dengan demikian dapat dibuktikan bahwa bakal sel kelamin pada urodela, secara *in vitro* dapat terbentuk dari sel-sel ektoderm yang diinduksi oleh endoderm.

### 3. Reptil dan Burung

Pada reptil dan burung, **PGC** diturunkan dari bakal sel-sel epiblas yang bermigrasi ke lapisan endoderm bagian tepi dari blastoderm yang disebut zona germinal crescent. Ini dapat dijumpai pada burung *stadium head process*. Pada daerah tersebut **PGC** memperbanyak diri secara mitosis (Saunders, 1982). Pada reptil dan burung **PGC** bermigrasi menuju gonad melalui pembuluh darah (Saunders, 1982; Gilbert, 1985), dimana **PGC** memasuki pembuluh darah dengan cara diapedesis.



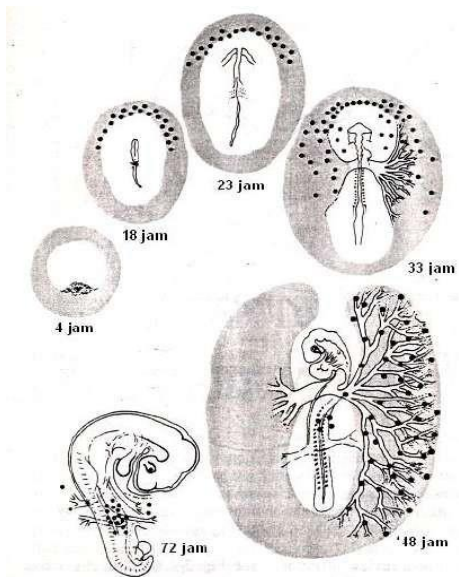
Gambar 4.3. Diapedesis PGC pada Embrio Ayam. PGC Memasuki Pembuluh Darah Vitelin (A) dan PGC Memasuki Daerah Bakal Gonad (B)

Sumber: Gilbert, 1985

Pada embrio bebek, jumlah **PGC** pada stadium primitive streak adalah 50 - 70 dan meningkat menjadi 80 pada stadium 6 somit dan selanjutnya meningkat menjadi 300 pada stadium 30 pasang somit (Saunders, 1982).

Belum diketahui apa yang menyebabkan bakal sel kelamin bergerak menuju pematang genital. Suatu kemungkinan bahwa gonad yang sedang berkembang menghasilkan suatu substansi yang bisa menarik bakal sel kelamin secara kemotaksis serta kemampuannya menghancurkan secara histolysis sel-sel serta membran-membran yang menghalanginya.

#### 4. Mamalia

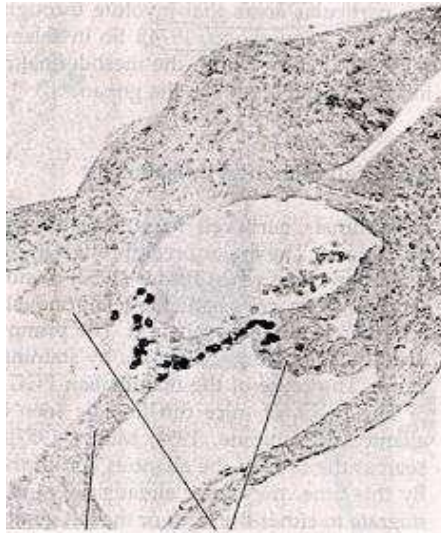


Gambar 4.4 Migrasi PGC pada Embrio Ayam. Umur 4 Jam Sebelum Primitive Streak Dibentuk, PGC Belum Teridentifikasi; pada Umur 18-23 Jam PGC Terakumulasi pada Daerah Anterior Germinal Crescent; Umur 33 Jam Aktif Menembus ke dalam Pulau-Pulau Darah dan Masuk ke dalam Sistem Sirkulasi; Umur 48 Jam PGC Bergerak ke dalam Pematang Gonad, dan pada Umur 72 Jam Membentuk Koloni di dalam Gonad

Sumber: Nieuwkoop dan Sutasurya, 1979 dalam Carlson, 1989

Pada manusia dan mamalia lain bakal sel kelamin pertama dijumpai pada lapisan endoderm pada daerah dasar alantois pada mancit mereka memasuki dinding saluran pencernaan dan bermigrasi melalui mesenterium dorsal menuju gonad pada mulanya bakal sel kelamin yang dijumpai berkisar 100, akan tetapi jumlah tersebut meningkat melalui pembelahan mitosis hingga jumlahnya mencapai 5000 selama bermigrasi ke gonad (Saunders, 1982). Pada mancit **PGC** pertama dijumpai pada umur embrio 5 hari, mereka terlihat yolk bakal sel kelamin pada mamalia dan amphibia mampu bergerak secara amuboid dan bermigrasi melalui mesenterium dorsal ke gonad (Carlson, 1988). **PGC** kemudian bergerak ke kaudal kantung yolk melalui usus belakang yang baru dibentuk terus ke mesenterium dorsal dan pada akhirnya menuju pematang genital. Umumnya **PGC** mencapai gonad yang sedang berkembang pada hari 11 post fertilisasi.





Gambar 4.5 Migrasi PGC pada Mencit Sumber: Browder, 1984

## B. Spermatogenesis

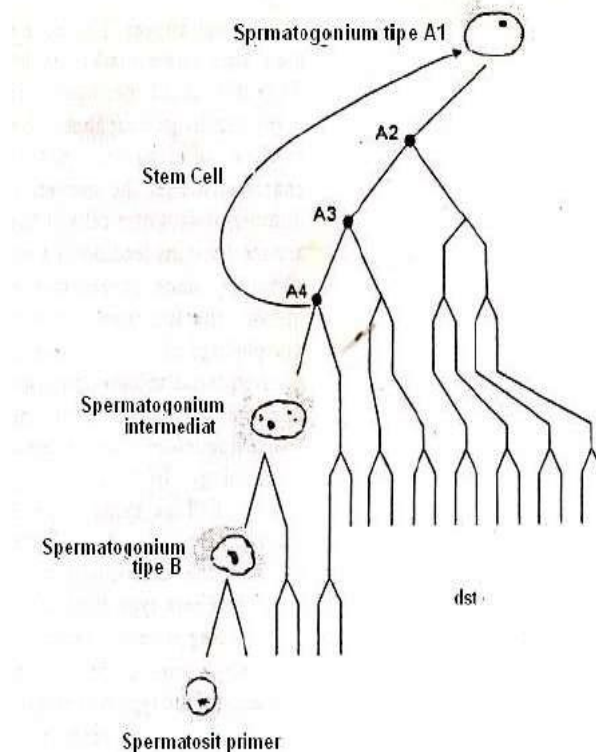
Spermatogenesis berlangsung di dalam gonad jantan (testis), tepatnya di dalam tubulus seminiferus. Tubulus seminiferus tertanam di dalam jaringan ikat yang berisi sel-sel leydig, pembuluh darah dan saraf. Bila direntangkan, panjang tubulus seminiferus berkisar 3200 m. Kurang lebih 360 meter tubulus seminiferus dapat menghasilkan 95 juta spermatozoa perhari. Pada manusia perkembangan spermatogonia menjadi sperma matang memerlukan waktu 16 hari (Villette *et al.*, 1999).

Di dalam tubulus seminiferus, sel-sel germa tertanam di dalam sel-sel sertoli sesuai dengan tahapan perkembangannya. Sel sertoli berfungsi untuk merawat dan memberi makan bagi sel germa yang sedang berkembang. Selain itu sel sertoli juga menghasilkan androgen binding protein (ABP) yang penting untuk mengikat testosteron agar kadar testosteron di dalam tubulus seminiferus dapat dipertahankan untuk memungkinkan berlangsungnya spermatogenesis. Sekresi ABP oleh sel sertoli diatur oleh hormon Follicle stimulating hormone (FSH) yang dihasilkan oleh kelenjar hipofisis.

Spermatogenesis terdiri atas tiga fase yaitu (i) fase proliferasi dengan cara pembelahan mitosis (ii) fase reduksi jumlah kromosom dengan cara meiosis, dan (iii) transformasi dari spermatid ke

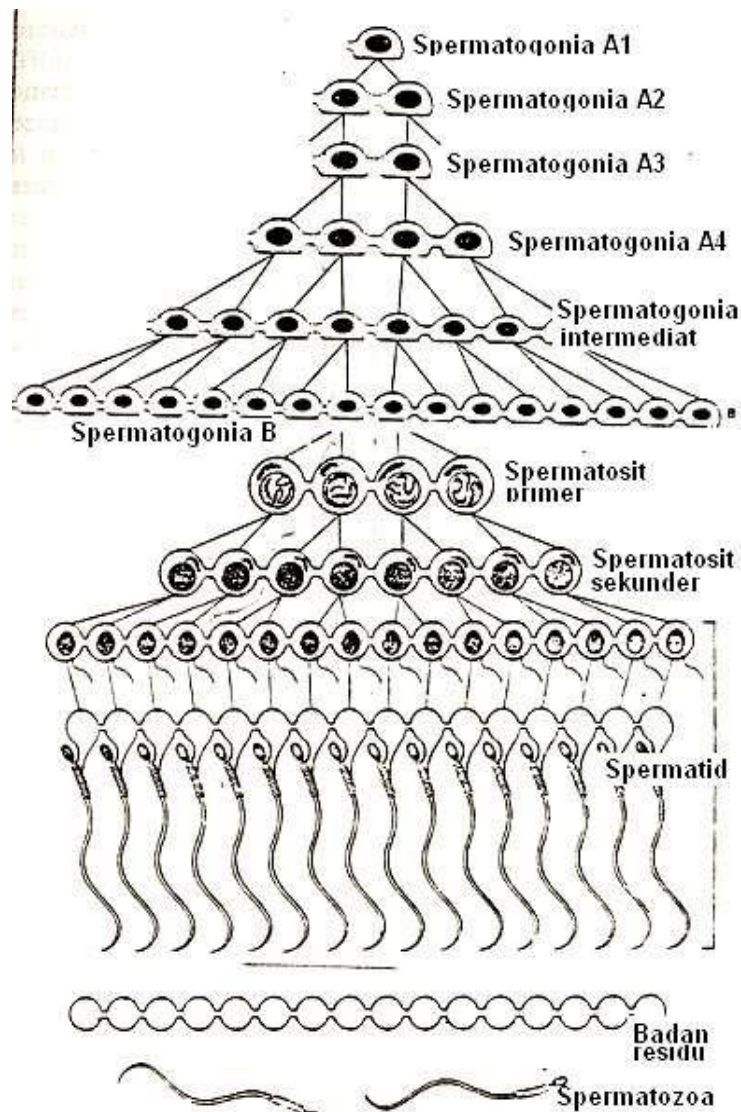


spermatozoa melalui spermiogenesis atau spermateleosis. Pada tikus, satu sel spermatogonia membelah secara mitosis sebanyak enam kali dan menghasilkan sel anak maksimum 64 sel. Sel-sel pada pembelahan pertama sampai ketiga disebut spermatogonia tipe A1, A2, A3, dan A4. Satu sel spermatogonia tipe A4 tidak meneruskan pembelahannya, melainkan menjadi spermatogonia istirahat atau *stemcell*.



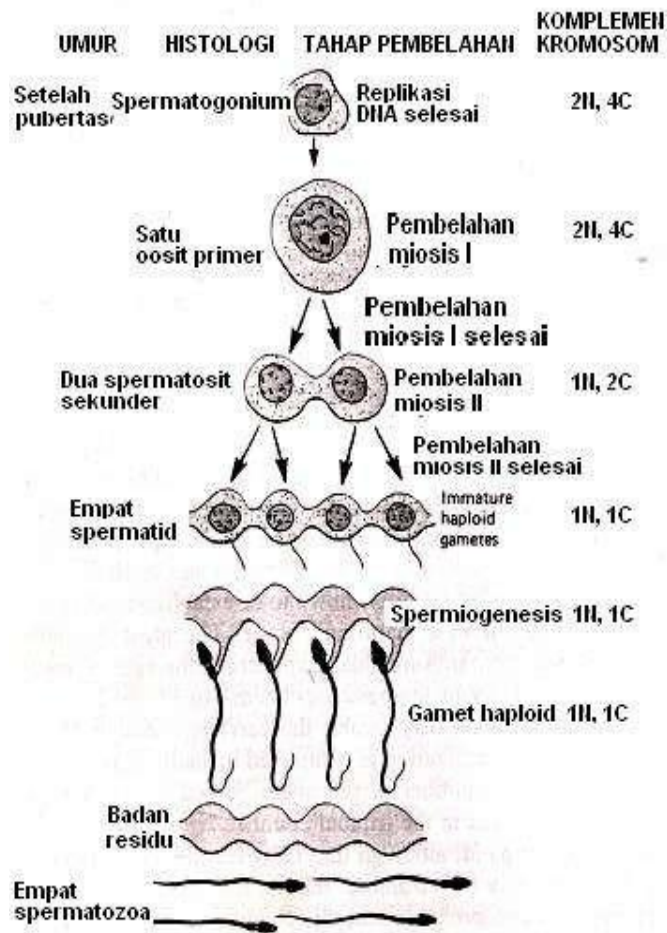
Gambar 4.6 Satu Spermatogonia Tipe A4 Tidak Meneruskan Pembelahannya dan Berubah Menjadi Stem Cell, Sedangkan yang Lain Meneruskan Pembelahan Mitosisnya

Sumber: Johnson dan Everitt, 1988



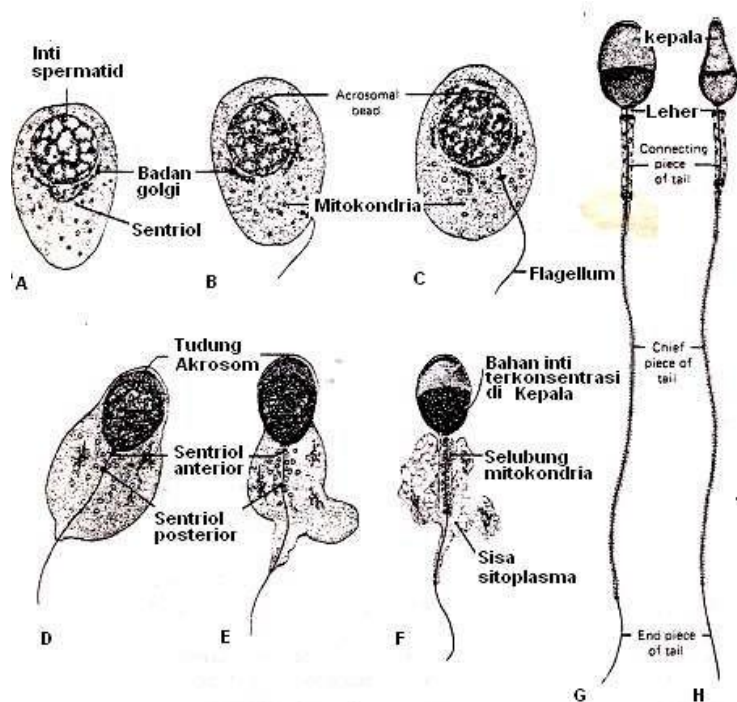
Gambar 4.7 Tahap-Tahap Spermatogenesis  
Sumber: Browder, 1984

Sel-sel spermatogonia tipe A4 yang lain membelah secara mitosis menghasilkan spermatogonia tipe intermediat. Spermatogonia tipe intermediat membelah secara mitosis menghasilkan spermatogonia tipe B. Spermatogonia tipe B membelah secara mitosis menghasilkan spermatosit primer.



Gambar 4.8 Kejadian Utama pada Spermatogenesis Manusia  
Sumber: Carlson,1989

Setelah pembelahan mitosis selesai, spermatogenesis dilanjutkan dengan pembelahan meiosis. Pada pembelahan meiosis I, spermatosit primer menghasilkan spermatosit sekunder yang haploid diad. Melalui pembelahan meiosis kedua, spermatosit sekunder membelah dan menghasilkan spermatid yang haploid monad. Dalam proses ini, setiap satu sel spermatosit primer menghasilkan 4 spermatid dan spermatid mengalami diferensiasi dan diubah menjadi spermatozoa melalui spermiogenesis.



Gambar 4.9 Spermiogenesis

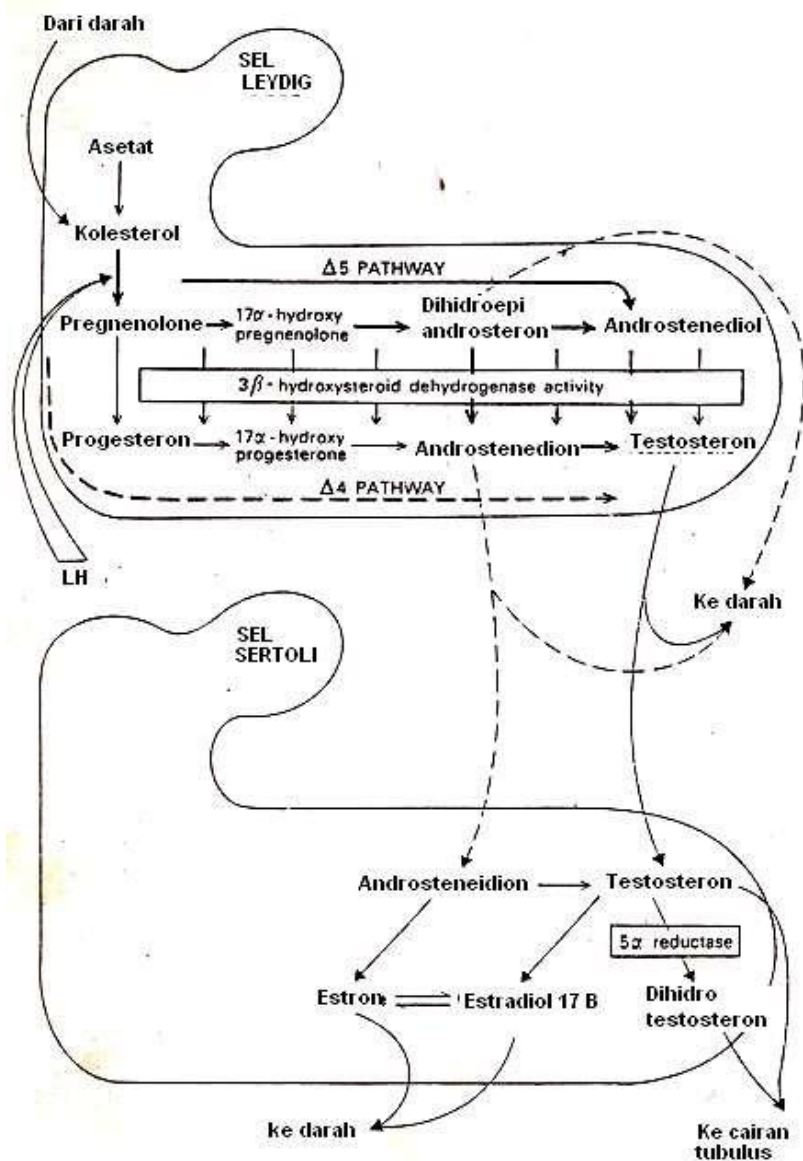
Sumber: Browder, 1984

Spermiogenesis terdiri atas 4 fase utama yaitu (i) **Fase golgi**, yaitu vesikula-vesikula akrosom dihasilkan oleh badan golgi pada sisi permukaan dalam nukleus. Selama proses tersebut, ujung anterior bakal kepala spermatozoa mulai terbentuk. Pada sisi yang berlawanan dengan bakal kepala spermatid, sentriol mulai mengorganisasi serabut-serabut bakal ekor. (ii) **Fase tudung**, yaitu ditandai dengan terjadinya penyebaran vesikula akrosom di seluruh permukaan inti, kemudian memadat dan spermatid mengalami rotasi dan menyebabkan permukaan kompleks akrosom mengarah ke dasar membran dari tubulus seminiferus, dan ekor yang sedang berkembang terorientasi ke arah lumen. (iii) **Fase akrosom**, yaitu inti agak memanjang dan sitoplasma berpindah tempat menuju daerah flagellum yang sedang berkembang. Akrosom ditutupi oleh membran sel anterior (iv) **Fase maturasi**, yaitu inti memanjang dan sangat terkondensasi. Mitokondria terorganisir mengelilingi bagian proksimal dari flagellum dan membentuk bagian tengah atau leher pada spermatozoa. Pada akhir spermiogenesis, sisa sitoplasma akan

lepas sehingga terbentuk spermatozoa yang terdiri atas (i) kepala, mengandung nukleus dan akrosom, (ii) bagian tengah atau leher yang mengandung flagellum bagian proksimal, sentriol, dan mitokondria sebagai sumber energi, dan (iii) ekor, yaitu suatu flagellum yang telah terspesialisasi.

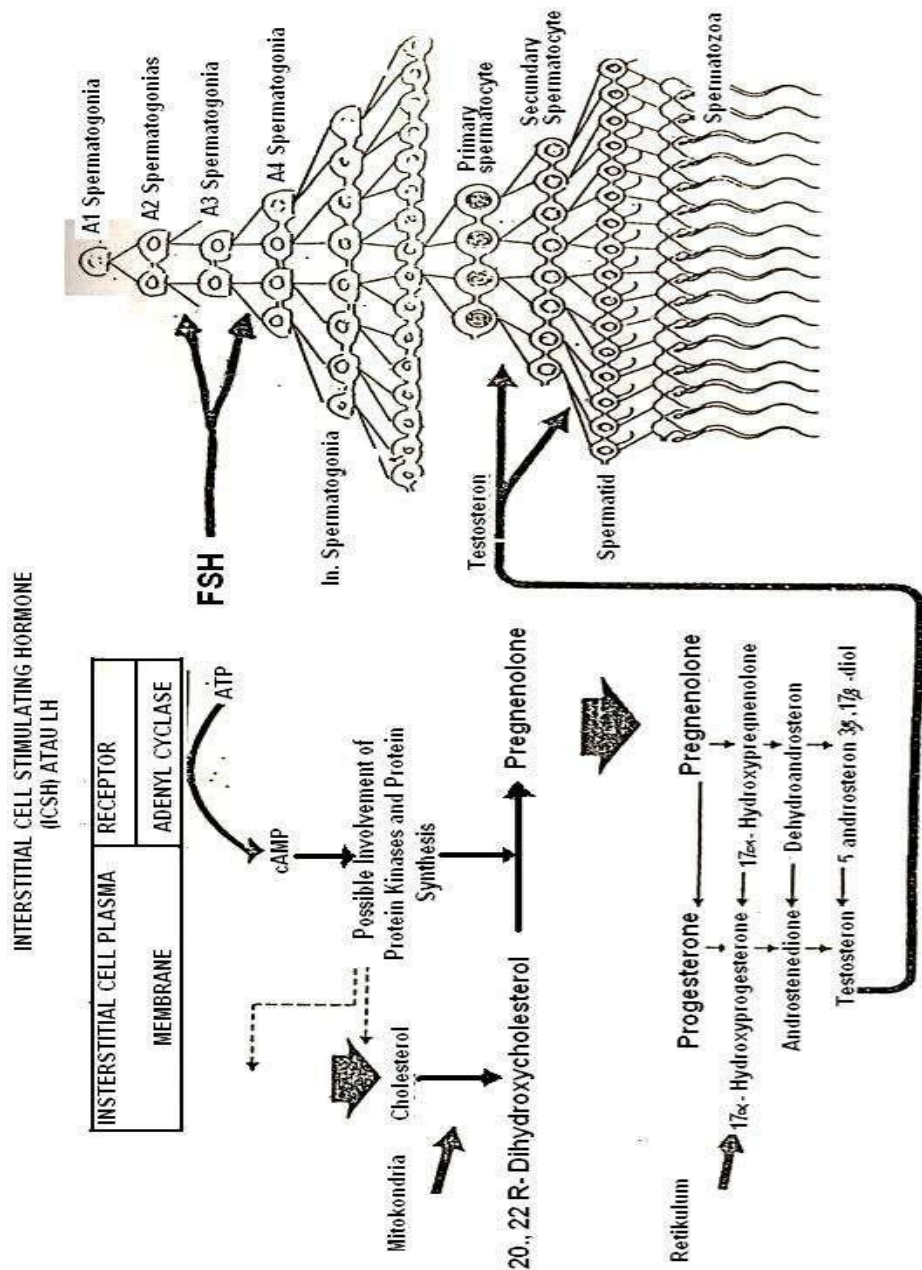
Spermatogenesis dikontrol oleh hormon steroid seks, yaitu testosteron. Testosteron disintesis oleh sel-sel interstisial testis atau sel-sel leydig. Sel-sel leydig terdapat di antara tubulus seminiferus testis. Testosteron berdifusi ke dalam tubulus seminiferus dan di dalam tubulus seminiferus, ia merangsang spermatogenesis. Produksi testosteron oleh sel leydig diatur oleh hormon gonadotropin, yaitu Luteinizing hormon (LH) yang dihasilkan oleh kelenjar hipofisis anterior. Hormon LH sering pula dinamakan Interstitial Cell Stimulating Hormon (ICSH).

Hormon gonadotropin lain yang mengatur spermatogenesis adalah Follicle Stimulating Hormon (FSH). Tempat utama aksi FSH adalah sel-sel sertoli. Pada mamalia, salah satu pengaruh FSH terhadap sel-sel sertoli adalah merangsang pelepasan Androgen Binding Protein (ABP). Protein ini memiliki afinitas yang tinggi terhadap testosteron dan berfungsi mempertahankan kadar hormon steroid dalam tubulus seminiferus dan sekaligus berpengaruh terhadap spermatogenesis. Testosteron dan ABP keduanya juga dijumpai di dalam cairan epididimis. Testosteron dan mungkin ABP penting untuk merangsang pematangan sperma (Browder, 1984). Ringkasan pengontrolan hormonal selama spermatogenesis ditunjukkan pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Lintasan Steroidogenesis pada Testis Sintesis Testosteron Berlangsung di dalam Sel-Sel Leydig  
Sumber: Johnson dan Everitt, 1989





Gambar 4.11 Lintasan Steroidogenesis pada Testis Sintesis Testosteron Berlangsung di dalam Sel-Sel Leydig  
Sumber: Johnson dan Everitt, 1989

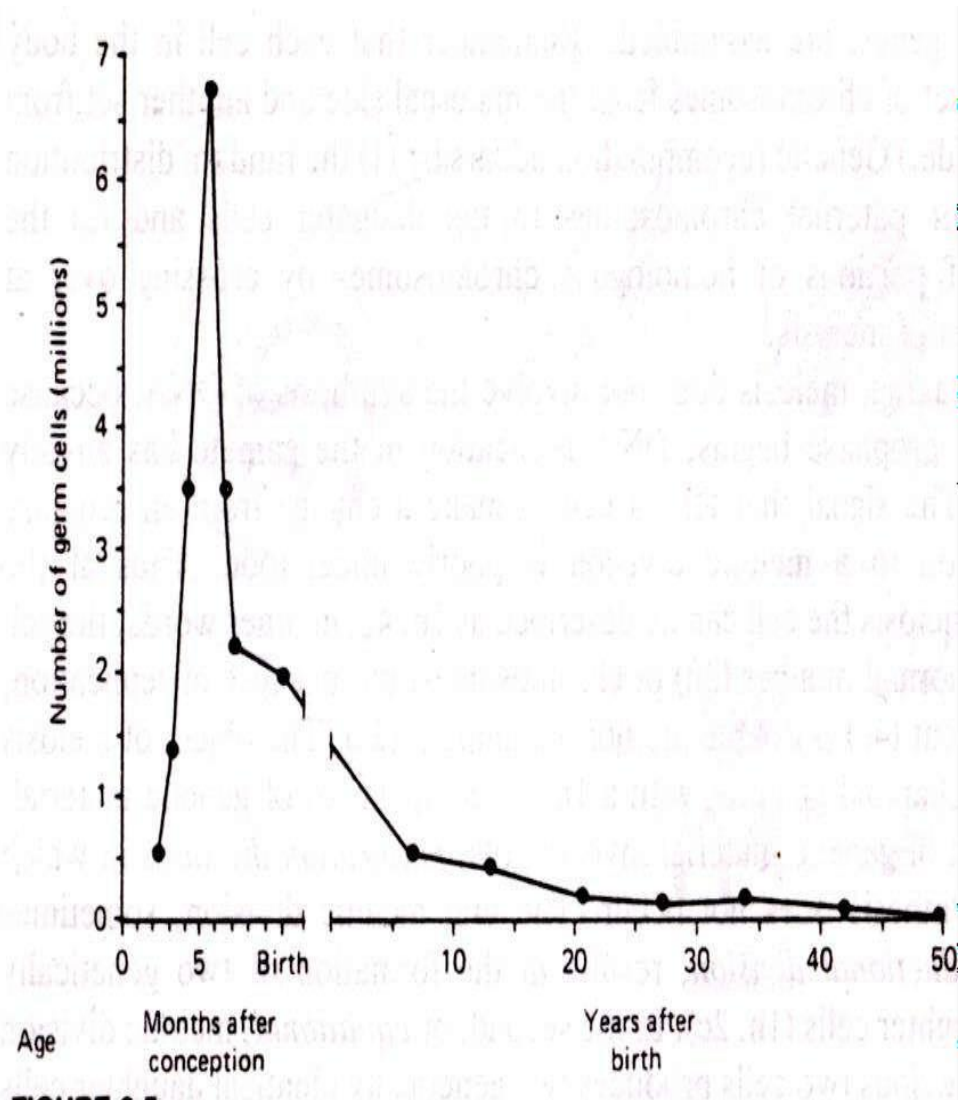
### **C. Oogenesis**

Oogenesis adalah proses pembentukan gamet betina atau sel telur yang berlangsung di dalam gonad betina atau ovarium. Mula-mula oogonium mengalami proliferasi secara mitosis, kemudian tumbuh menjadi oosit primer, lalu memasuki tahapan pemasakan (meiosis). Pembelahan meiosis pertama menghasilkan satu sel spermatosit sekunder, dan satu sel polosit atau badan polar pertama. Pada pembelahan meiosis kedua, oosit sekunder membelah menghasilkan satu sel ootid dan satu badan polar pertama atau polosit. Badan polar seringkali mengalami degenerasi sebelum memasuki pembelahan meiosis kedua. Oogenesis pada manusia secara teoritis satu oosit primer menghasilkan satu ovum yang fungsional dan tiga polosit.

Oogenesis pada kelompok-kelompok hewan cukup bervariasi. Pada katak pertumbuhan oosit berlangsung selama tiga tahun, dimulai setelah kecebong bermetamorfosis menjadi katak muda. Setiap tahun sejumlah oosit dihasilkan sebagai hasil pembelahan oogonium, tetapi oosit tersebut tidak menjadi dewasa hingga tiga tahun kemudian. Sebab itu dalam sebuah ovarium pada waktu yang sama dapat dijumpai oosit dari tiga generasi. Pada mamalia, semua oogonium membelah secara serentak dan transformasi oogonium menjadi oosit disempurnakan sebelum atau setelah lahir. Jumlah oosit yang dihasilkan terbatas dan perkembangannya terhenti pada profase pertama. Perkembangan oosit dilanjutkan kembali setelah mencapai usia pubertas.

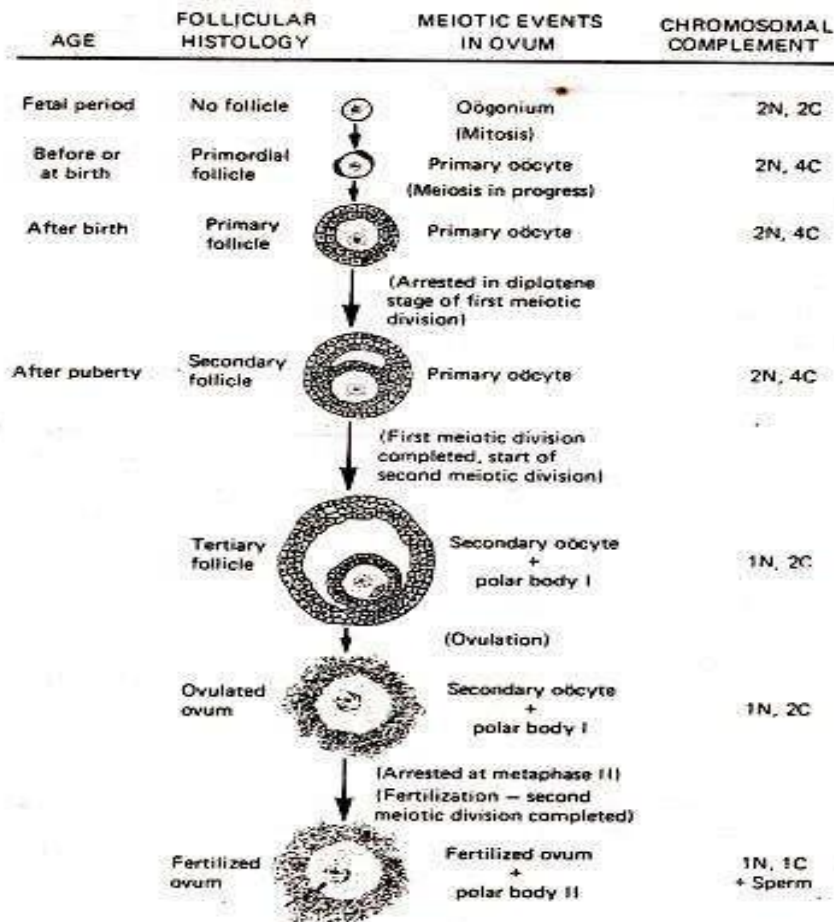
Selama bulan kedua hingga bulan ke tujuh kehamilan, ribuan oogonium membelah dengan cepat dan menghasilkan kurang lebih 7.000.000 oogonium. Setelah embrio berumur 9 bulan, jumlah oogonium menurun secara drastis dan selama periode tersebut banyak oogonium yang mati. Oogonium yang tersisa memasuki pembelahan meiosis pertama fase profase dan sel-sel tersebut dinamakan oosit primer. Meiosis pertama hanya berlangsung hingga tahap diploten. Pembelahan kembali dilanjutkan setelah pubertas.





Gambar 4.12 Perubahan-Perubahan Populasi Sel-Sel Germa pada Ovarium Manusia

Sumber: Carlson, 1988



Gambar 4.13 Tahap-Tahap Oogenesis  
Carlson, 1989

Pada saat lahir, ovarium manusia mengandung oosit berkisar 2.000.000, beberapa di antaranya berdegenerasi dan yang lain melanjutkan pembelahan meiosis hingga stadium diploten meiosis pertama. Oosit di dalam ovarium terus mengalami atresia hingga hanyatersisa sekitar 400-450 buah yang matang dan diovulasikan.

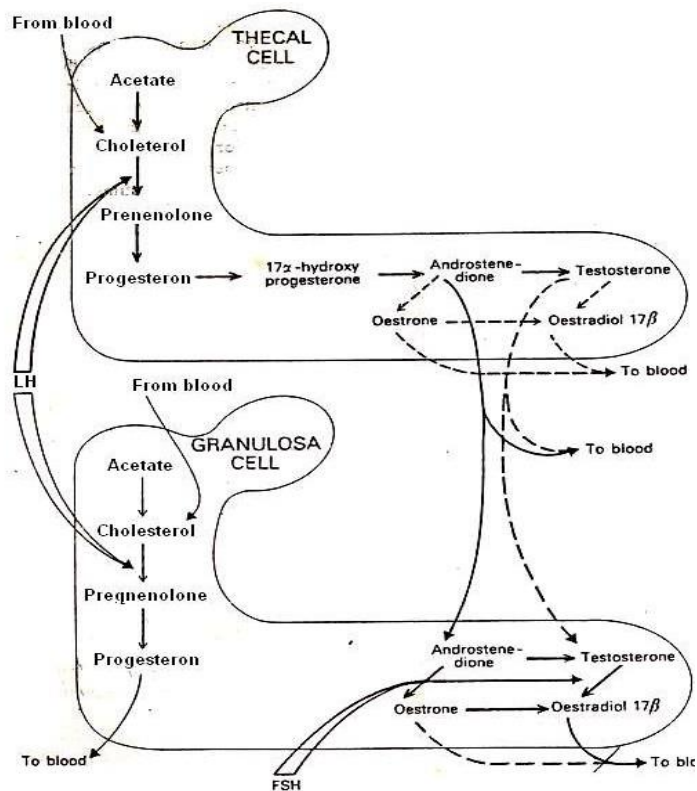
Oosit yang mengalami meiosis selama fase embrional dirangsang oleh *meiosis initiating factor*, kemudian berhenti pada stadium diploten. Berhentinya pembelahan meiosis diduga karena pada stadium tersebut, oosit menghasilkan suatu substansi yang dikenal dengan nama meiosis inhibiting factor (Johnson dan Everiit, 1989). Sebelum pubertas ukuran beberapa folikel bertambah, zona pelusida dibentuk.

Telur bertanggung jawab untuk memulai dan menginisiasi perkembangan. Pada beberapa spesies, fertilisasi bukanlah hal yang penting. Di dalam sitoplasma sel telur terakumulasi komponen-komponen seluler seperti mitokondria, DNA polimerase, ribosom, tRNA, histon, deoksiribonukleotida trifosfat. Umumnya komponen-komponen tersebut diakumulasi selama berlangsungnya profase meiosis pertama, yaitu pada proses vitellogenesis. Vitellogenesis berlangsung jika oosit mencapai stadium diploten dan pada saat itu kromosom inti menyerupai sikat atau kromosom lampbrush yang aktif mensintesis RNA.

Pada mamalia dan kebanyakan hewan, periode tumbuh pada oogenesis merupakan periode yang sangat penting karena telur akan menyumbangkan sebagian besar substansi yang dikandungnya untuk perkembangan embrio lebih lanjut. Pada katak, oosit muda berdiameter kurang lebih 50 nm, sedangkan pada telur yang telah mengalami perkembangan penuh berdiameter 1000 – 2000 nm. Pada rana pipiens, telur dewasa berdiameter 1500 nm. Penambahan ukuran oosit 27.000 kali dan ini terjadi selama kurang waktu 3 tahun. Selama periode tumbuh dan pendewasaan, umumnya oosit dikelilingi oleh sel-sel khusus ovarium, yaitu sel-sel folikel atau sel-sel granulosa seperti yang telah dibahas pada Bab III. Oogenesis pada manusia berlangsung sejak fase embrional walaupun kemudian terhenti. Oogenesis kembali dilanjutkan pada fase pubertas. Sebelum pubertas, beberapa folikel bertambah besar sebagai akibat ukuran oosit meningkat. Di sekeliling sel-sel granulosa terbentuk membran granulosa. Pada bagian dalam dari membran granulosa tidak terdapat pembuluh darah. Makanan dan oksigen diperoleh oosit dari sel-sel granulosa melalui difusi. Pada oosit dan sel-sel folikel berkembang sejumlah mikrovili yang memperluas bidang penyerapan.

Tahap awal perkembangan folikel tampaknya berlangsung tanpa melibatkan hormon-hormon seks. Tahap perkembangan folikel selanjutnya adalah pembentukan suatu rongga yang disebut antrum di dalam lapisan sel-sel granulosa. Rongga tersebut berisi cairan yang disebut cairan folikel. Folikel sekarang disebut folikel sekunder, tetapi oosit di dalam folikel tetap sebagai oosit primer dengan kromosom

pada stadium diploten. Pada stadium ini perkembangan folikel sangat tergantung pada hormon-hormon gonadotropin yang dihasilkan oleh kelenjar pituitary, khususnya FSH yang merangsang sel-sel folikel untuk menghasilkan estrogen.

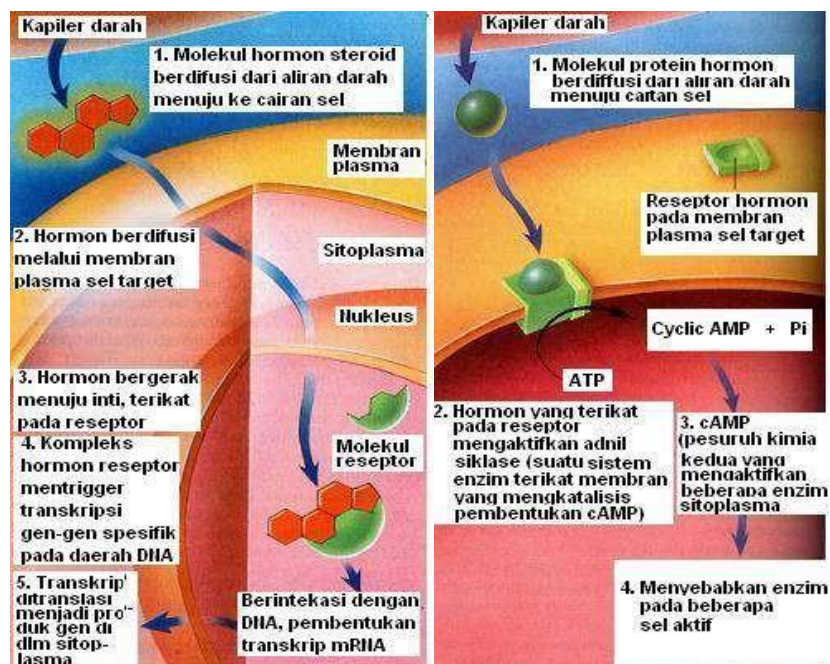


Gambar 4.14. Lintasan Steroid Oogenesis pada Ovarium  
Sumber: Johnson dan Everit, 1989

Oosit pada folikel sekunder dikelilingi oleh suatu massa padat sel-sel granulosa yang disebut *cumulus oophorus* dan sel-sel jaringan ikat atau stroma ovarium yang disebut theca folliculi (lihat bab II). Sel-sel theca pada awal folikel sekunder mengandung reseptor luteinizing hormon (LH) dan FSH. Jika sel-sel theca dirangsang oleh LH maka ia akan menghasilkan testosteron. Testosteron dapat melintasi membran granulosa dan bergerak menuju sel-sel granulosa (Ericson, 1985). FSH secara aktif membangkitkan sistem cAMP. Rangsangan secara enzimatik akan mengubah testosteron menjadi estradiol, suatu estrogen yang potensial.

Estradiol aktif pada inti sel-sel folikel dan juga merangsang pembentukan reseptor LH pada sel-sel granulosa (Carlson, 1988). Akibat rangsangan hormon tersebut, maka ukuran folikel semakin besar, rongga antrum semakin besar dan cairan folikel semakin banyak. Cairan folikel akan mendesak sel telur sehingga ke arah *cumulus oophorus*. Folikel sekarang dinamakan folikel Graaf. Folikel Graaf kemudian bergerak ke arah permukaan ovarium sehingga permukaan ovarium tampak menonjol ke luar.

Hasil pembelahan meiosis pertama adalah oosit sekunder yang haploid dengan satu badan polar. Selanjutnya meiosis kedua dimulai dan terhenti pada metaphase II. Pada sitoplasma oosit, badan golgi mensekresikan granula-granula yang dideposisikan pada bagian tepi membran plasma. Granula tersebut dinamakan granula korteks. Ikatan mikrovili pada zona pelusida menjadi kendur disebabkan karena di antara membran oosit dengan zona pelusida terdapat badan polar pertama. Selama periode ini, sel-sel granulosa sangat sensitive terhadap LH karena reseptor-reseptor LH telah terbentuk. Sel-sel granulosa sekarang menghasilkan progesteron.



Gambar 4.15 Mekanisme Aksi Hormon Steroid dan Non Steroid

Sumber: Start dan Taggart, 1989

Pada stadium praovulasi, cairan folikel sangat banyak dan lapisan granulose menjadi sangat tipis. Sementara itu terjadi pengurangan pembuluh darah yang menyebabkan membran propria pecah dan terbentuk suatu lubang yang disebut stigma. Akibatnya cairan di dalam rongga antrum keluar dan ovulasi berlangsung. Ada dua hipotesis yang berkaitan dengan ovulasi, yaitu: (i) pada stadium praovulasi dihasilkan suatu enzim proteolitik lokal yang melarutkan membran basal atau lamina propria dan (ii) karena adanya tekanan cairan dari dalam.

Setelah terjadi ovulasi, cairan di dalam antrum keluar, akan tetapi cairan pada daerah di dekat oosit tidak keluar karena sifatnya lebih kental dan kelak akan mengisi rongga folikel. Sel-sel granulose yang tertinggal tumbuh menjadi lebih besar dan berubah menjadi sel-sel kelenjar dan disebut korpus luteum. Proses tersebut dinamakan luteinisasi.

Korpus luteum secara aktif menghasilkan progesteron. Beberapa spesies, korpus luteum dipertahankan karena adanya kompleks luteotropik yang berperan memberi rangsangan pada korpus luteum agar tetap bekerja. Salah satu kompleks luteotropik tersebut adalah prolaktin. Dalam keadaan tidak hamil pun luteum akan berdegenerasi menjadi korpus albicans dan akhirnya hilang. Peristiwa ini dinamakan luteolitik. Luteolitik ditandai dengan beberapa ciri, yaitu sel-sel luteal mengecil, pembuluh darah berkurang, kematian sel-sel berlangsung secara progresif, dan kadar hormon progesteron menurun. Faktor-faktor yang menyebabkan luteolisis pada beberapa spesies adalah prostaglandin yang dihasilkan oleh uterus. Pada primate luteolisis tidak disebabkan oleh prostaglandin, tetapi lebih disebabkan karena konsentrasi LH tidak dapat mempertahankan korpus luteum dan juga adanya hormon estrogen.

#### **D. Vitellogenesis**

Vitellogenesis adalah proses pembentukan dan deposisi yolk. Yolk merupakan komponen sitoplasma telur yang menonjol pada banyak jenis hewan dan berfungsi sebagai bahan makanan untuk perkembangan embrio.

Yolk adalah substansi heterogen yang tersusun atas lipida, karbohidrat, dan protein. Pada sitoplasma ikan bertulang sejati, reptil, burung, dan mamalia; yolk terdapat dalam bentuk granula. Pada beberapa insekta, ikan yang tidak bertulang sejati, dan amphibian; yolk terdapat dalam bentuk cakram atau platelet (Majumdar, 1985).

Awalnya, oosit yang baru berkembang tidak mengandung bahan-bahan yolk. Bahan-bahan untuk pembentukan yolk disintesis dari dua sumber, yaitu oosit dan di luar oosit. Sintesis di dalam oosit dinamakan autosintesis, sedangkan sintesis di luar oosit disebut heterosintesis. Yolk yang disintesis di luar oosit diangkut ke dalam oosit selama berlangsungnya vitellogenesis. Pada amphibian, komponen utama yolk terdiri atas fosfitin suatu fosfoprotein dan lipoprotein suatu lipofosfoprotein. Vitellogenesis pada amphibian berlangsung baik secara autosintesis maupun secara heterosintesis.

Awal vitellogenesis amphibian, produksi yolk terutama berlangsung di dalam oosit, akan tetapi pada stadium lanjut, oosit memperoleh yolk melalui mikropinositosis dari darah. Produksi yolk secara endogen berlangsung di dalam struktur-struktur yang disebut badan-badan multivesikula. Struktur tersebut berbatas membran. Badan-badan multivesikula dibentuk dari badan golgi dan retikulum endoplasma. Badan-badan multivesikula diubah menjadi kompleks prekursor yolk yang ditandai dengan terjadinya akumulasi protein yolk. Pertumbuhan prekursor yolk berlangsung melalui penyatuan vesikula-vesikula. Akhirnya terbentuk kristal-kristal protein yolk.

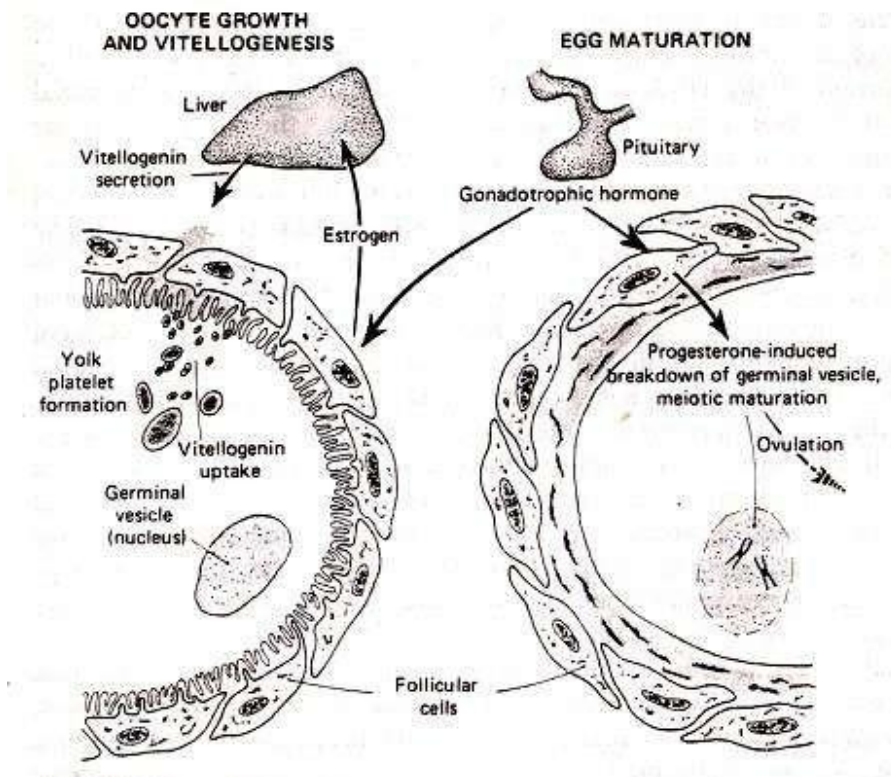
Amphibia Ranidae dapat memanfaatkan mekanisme produksi yolk secara endogen selama fase awal oogenesis. Bahan-bahan serupa yolk dihasilkan di dalam mitokondria. Bahan-bahan tersebut tampak sebagai kristal-kristal sederhana di dalam mitokondria. Pertumbuhan kristal-kristal tersebut akan melenyapkan struktur-struktur internal mitokondria.

Selama stadium lanjut vitellogenesis, oosit pada amphibian mulai membutuhkan yolk yang dihasilkan secara eksogen. Prekursor yolk "vitellogenin" disintesis di dalam hati dan diangkut melalui peredaran darah menuju ovarium. Di dalam ovarium, vitellogenin memasuki oosit dengan cara mikropinositosis (Carlson, 1980). Produksi yolk di dalam hati dijumpai pada beberapa jenis hewan



seperti ikan, reptil, dan burung (Browder, 1984).

Coelenterata mensintesis yolk di dalam oosit melalui sintesis protein biasa. Beberapa organel seluler seperti retikulum endoplasma (RE), badan golgi (BG), dan mitokondria dianggap ikut terlibat di dalam proses sintesis.



Gambar 4.16. Pengontrolan Vitellogenesis pada Amphibia

Sumber: Carlson, 1988

Pada vertebrata, yolk disintesis di luar oosit, diangkut dalam bentuk terlarut melalui aliran darah dan sel-sel folikel ke oosit. Yolk pada akhirnya ditimbun dalam bentuk keping-keping atau butir-butir yolk. Kelenjar pituitari bertanggung jawab untuk mensekresikan hormon-hormon gonadotropin di dalam darah. Hormon tersebut merangsang sel-sel folikel untuk mensekresikan estrogen, dan estrogen menginstruksikan hati untuk mensintesis dan mensekresikan vitellogenin. Di bawah rangsangan estrogen, sel-sel hati mengalami perubahan secara drastis dan vitellogenin dapat disekresikan. Estrogen menginduksi vitellogenesis pada tingkat transkripsi dan translasi (Gilbert, 1985).



## E. Gamet

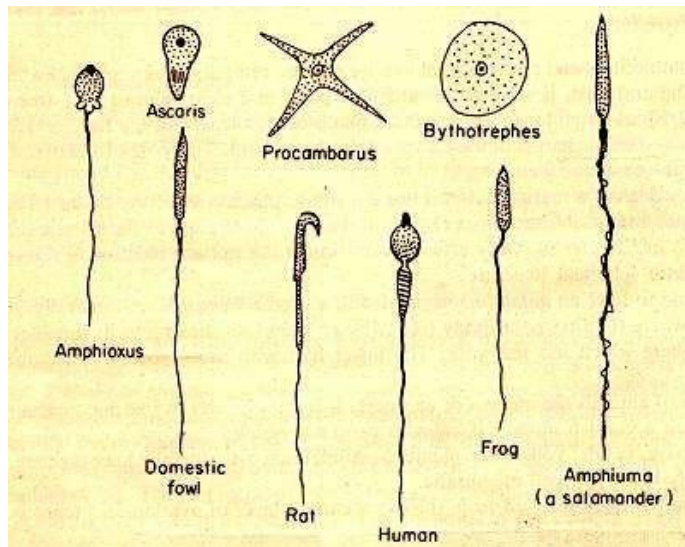
Gamet merupakan produk akhir dari gametogenesis yang berlangsung di dalam gonad (testis atau ovarium). Gamet yang merupakan produk spermatogenesis disebut sperma, sedangkan gamet yang merupakan produk oogenesis disebut "ovum". Gamet berfungsi sebagai pembawa informasi genetik dari kedua parental kepada keturunannya.

### 1. Spermatozoa

Spermatozoa atau sperma dihasilkan oleh testis melalui proses yang disebut spermatogenesis. Sperma pertama kali dilepaskan pada saat pubertas, dan ini merupakan puncak dari serangkaian kejadian yang diawali sejak awal kehidupan fetus.

Spermatozoa telah digambarkan oleh A. V. Leewenhoek lebih dari 300 tahun yang lalu. Spermatozoa pada spesies yang berbeda mempunyai ukuran yang bervariasi. Pada manusia, kelinci dan mamalia domestik, panjang spermanya kurang lebih 50 um, sedangkan pada rodentia lebih panjang, berkisar 150-250 um. Spermatozoa paling panjang dijumpai pada marsupialia yaitu *Tarsipes rostratus*, namun demikian beberapa jenis marsupialia memiliki sperma dengan ukuran yang kurang lebih sama dengan sperma pada rodentia atau manusia (Setchell dalam Austin dan Short, 1982).

Pada umumnya sperma terdiri atas dua tipe yaitu sperma yang memiliki ekor dan sperma yang tidak memiliki ekor. Sperma yang memiliki ekor dinamakan sperma tipe ***hematospermium***, sedangkan sperma yang tidak memiliki ekor dinamakan sperma tipe ***anemospermium*** (Majumdar, 1985).

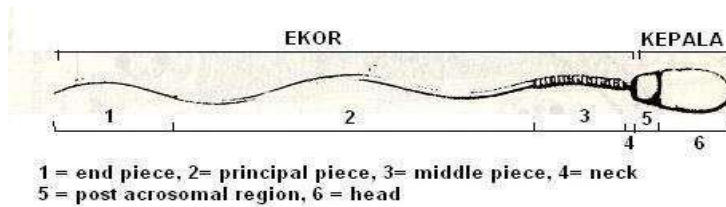


Gambar 4.17 Bentuk-Bentuk Sperma

Sumber: Majumdar, 1985

Jumlah sperma pada setiap jenis makhluk hidup selalu lebih banyak dibandingkan dengan jumlah sel telur. Sperma umumnya bersifat mobil. Pada manusia, volume ejakulasi yang dianggap normal adalah kurang lebih 3,5 ml dengan kepadatan 100 juta/ml. Laju pergerakan sperma bergantung pada beberapa faktor, antara lain jenis medium dan tipe sperma. Pada medium asam, misalnya vagina, laju pergerakan sperma berkisar 0,5 mm/menit, sedangkan pada medium alkalis seperti pada uterus, laju pergerakan sperma berkisar 2 - 3 mm/menit. Umumnya sperma X kurang aktif bila dibandingkan dengan sperma Y. Lama hidup sperma manusia di dalam saluran kelamin wanitaberkisar 3 - 4 hari.

Sperma pada mamalia terdiri atas dua daerah utama, yaitu kepala dan ekor. Ekor terdiri atas 4 segmen, yaitu "**neck, middle piece, principal piece, dan end piece**". Di daerah kepala terdapat inti yang mengandung massa kromosom terkondensasi. Inti, akrosom dan flagellum merupakan komponen utama sperma. Akrosom berfungsi untuk menembus bagian-bagian lapisan tambahan telur dan meletakkan sperma ke telur. Flagellum merupakan organel lokomotor, dijumpai pada kebanyakan sperma.

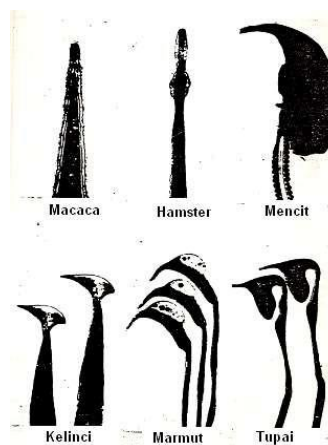


Gambar 4.18 Bagian-Bagian Utama Sperma

Sumber: Browder, 1984

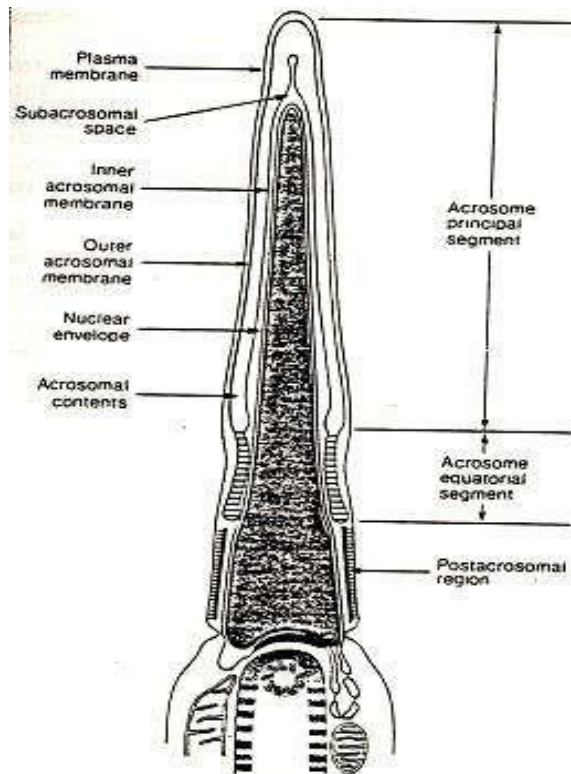
### a. Kepala Sperma

Bentuk kepala sperma adalah khas pada setiap spesies. Pada mencit dan tikus berbentuk kait dan agak pipih, pada manusia dan hewan-hewan domestik berbentuk bundar. Kepala pada sperma manusia panjangnya 5 um, lebar 2,5 um, dan tebal 1,5 um. Kepala pada sperma mamalia pada umumnya terdiri atas massa DNA - protein yang terkondensasi yang disebut kromatin, kadang-kadang berkombinasi dengan protein sederhana atau peptida yang disebut protamin. Pada setengah bagian anterior sperma ditutupi oleh akrosom dengan suatu membran yang berbentuk kantung dan mengandung enzim-enzim yang penting untuk penetrasi telur oleh spermatozoa. Bentuk-bentuk akrosom biasanya tergantung pada spesiesnya. Seperti sel-sel pada umumnya, kepala spermatozoa berikut akrosomnya ditutupi oleh membran plasma, dan kandungan sitoplasmanya sangat sedikit. Pembahasan kita selanjutnya lebih menekankan sperma pada mamalia.



Gambar 4.19 Berbagai Bentuk Kepala Sperma

Sumber: Browder, 1984



Gambar 4.20 Struktur Kepala Sperma pada Mamalia  
Sumber: Browder, 1984

Akrosom memiliki membran tersendiri, mengandung sejumlah enzim-enzim hidrolitik. Jika sperma mencapai sel telur akrosom akan mengalami reaksi dalam suatu proses yang dinamakan reaksi akrosom (lihat pembahasan tentang reaksi akrosom pada pembahasan fertilisasi). Enzim-enzim akrosom membantu sperma menembus lapisan-lapisan tambahan yang menyelubungi sel telur.

Beberapa jenis enzim akrosom yaitu hyaluronidase, proteinase akrosom dan neuraminidase. Hyaluronidase berfungsi untuk melarutkan cumulus oophorus; enzim tripsin seperti proteinase akrosom bekerja untuk melarutkan zona pelusida, dan neuraminidase merupakan enzim penetrasi corona.

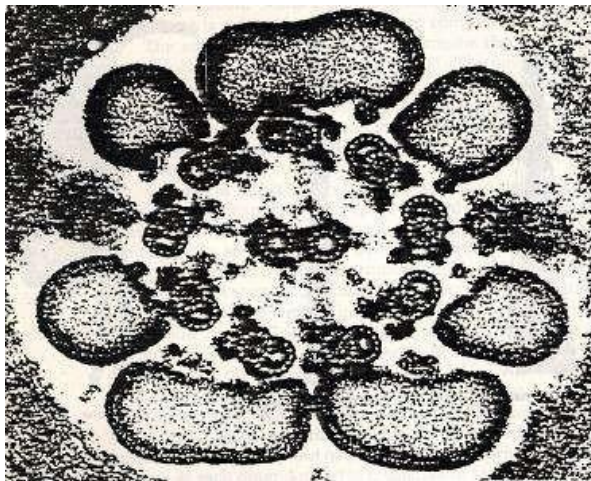
Bagian posterior akrosom memiliki densitas yang berbeda dengan bagian anterior. Daerah tersebut dinamakan ***acrosome equatorial segment***. Segmen tersebut secara fungsional sangat penting karena merupakan tempat terjadinya kontak pertama antara membran sperma dan membran sel telur pada saat fertilisasi.

Akrosom dan inti menentukan bentuk kepala sperma, namun secara fungsional fungsi dari bentuk sperma yang berbeda tersebut belum sepenuhnya dipahami secara jelas.

### **b. Ekor Sperma**

Ekor sperma (flagellum) terdiri atas dua mikrotubulus pusat yang dikelilingi oleh 9 mikrotubulus yang berpasangan. Struktur tersebut dinamakan axonema. Axonema dikelilingi oleh 9 deretan serabut padatluar yang paralel dengan pasangan axonema. Serabut-serabut padat tersebut berfungsi untuk mengeraskan ekor sperma.

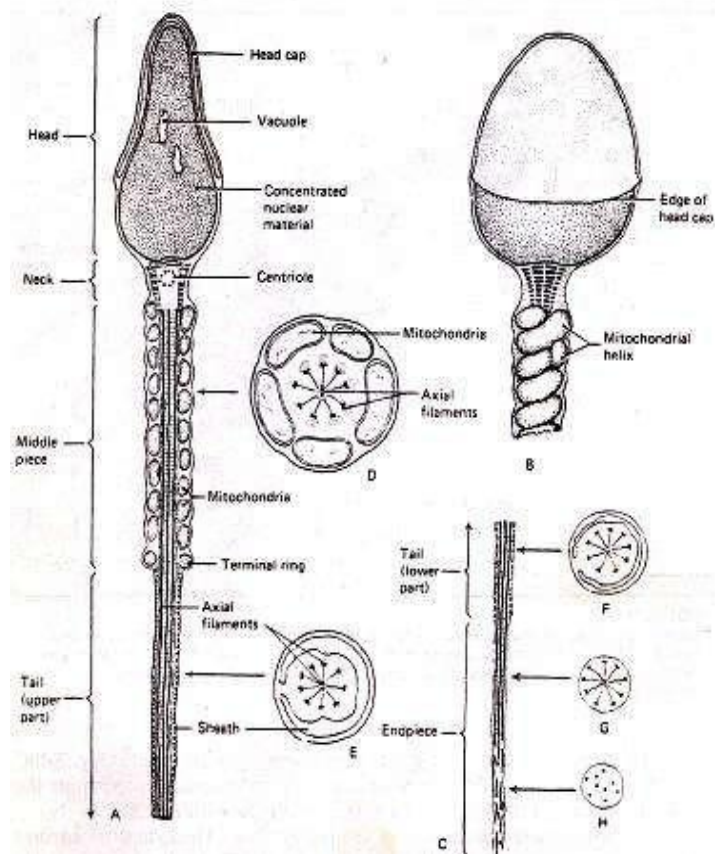
Ekor atau flagellum biasanya dibagi menjadi daerah neck, mid-piece, principal piece, dan end piece. Daerah leher (neck) terbentuk pada dasar ekor. Elemen-elemen utama dari struktur ini adalah *connecting piece* yang bersambung dengan bagian cembung pada dasar kepala sperma. *Connecting piece* kemungkinan bertanggung jawab untuk perlekatan kepala ke ekor. Mid-piece merentang dari kepala ke arah ujung heliks mitokondria.



Gambar 4.21 Susunan Axonema pada Bagian Principal Piece  
Sumber: Browder, 1984

Sperma pada beberapa spesies mamalia memiliki dua sentriol, yaitu sentriol proksimal dan sentriol distal. Sentriol proksimal tertanam pada *connecting piece*. Selama perkembangan ekor, sentriol distal dapat dijumpai, namun berdegenerasi selama perkembangan *connecting piece* (Browders, 1984). *Middle piece* ditandai dengan adanya seludang mitokondria yang mengeliling axonema dan berfungsi untuk

menghasilkan energi yang penting bagi pergerakan sperma. *Middle piece* diakhiri dengan suatu struktur yang disebut annulus. Di belakang annulus, axonema diselubungi oleh seludang serabut. Daerah ini disebut *principal piece*. Bagian belakang *principal piece* disebut *end piece*.



Gambar 4.22 Ultra Struktur Sperma pada Mamalia  
Sumber: Carlson, 1988

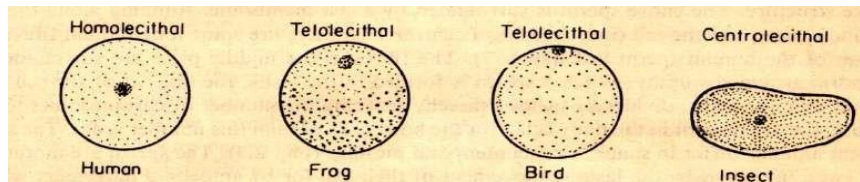
## 2. Ovum

Berdasarkan kandungan yolknnya telur dapat dikelompokkan menjadi:

- (i) **Isolecithal** atau **oligolecithal** adalah telur dengan kandungan yolk sedikit dan menyebar. Ditemukan pada amphioxus, ascidian, mollusca, dan mamalia.
- (ii) **Mesolecithal** adalah telur dengan kandungan yolk yang sedang, dan biasanya terkonsentrasi pada kutub vegetatif. Dijumpai pada amphibia, dan ikan paru-paru.



- (iii) **Telolecithal** adalah telur yang memiliki kandungan yolk yang banyak. Dijumpai pada ikan, reptil dan burung.
- (iv) **Centrolecithal** adalah telur dengan kandungan yolk terpusat pada bagian tengah telur. Dijumpai pada serangga dan *arthropoda* lainnya.



Gambar 4.23 Berbagai Tipe Telur

Sumber: Majumdar, 1985

Menurut Majumdar (1985), umumnya telur yang dilepaskan dari ovarium dilindungi oleh selaput telur. Selaput telur dihasilkan oleh:

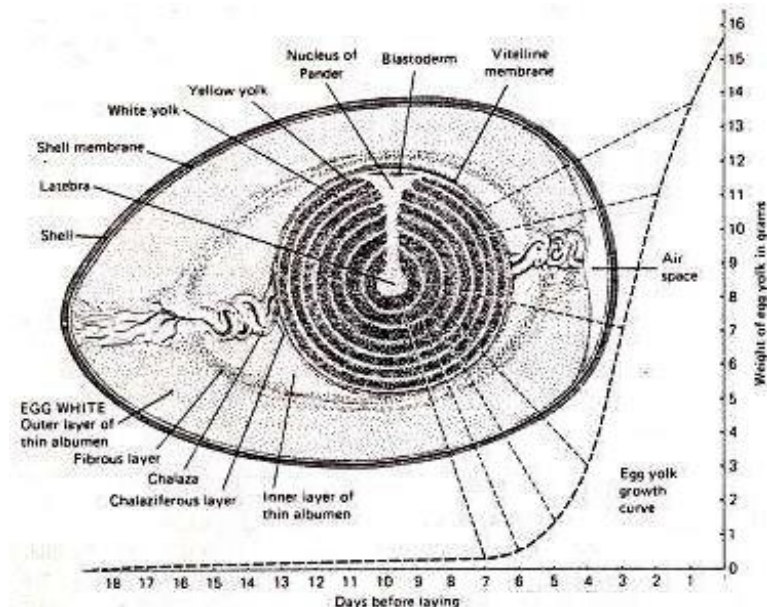
- (i) Oosit sendiri
- (ii) Sel-sel folikel
- (iii) Saluran reproduksi betina setelah ovulasi.

Secara umum selaput telur dibedakan atas tiga jenis, yaitu (i) selaput telur primer, (ii) selaput telur sekunder, dan (iii) selaput telur tertier. Selaput telur primer dihasilkan oleh oosit sendiri, misalnya *zonaradiata* pada burung dan membran vitelin pada insekta, moluska, amphia, dan burung. Selaput telur primer biasanya melekat di dekat permukaan oosit pada ruang antara oosit dan sel folikel yang ditempati oleh mikrovili yang “berinterdigitata”.

Selaput telur sekunder yaitu selaput telur yang dihasilkan oleh sel-sel folikel dan dideposisikan di luar membran vitelin, misalnya ***zona pelusida*** pada mamalia. Selaput telur tersier dihasilkan oleh kelenjar oviduct dan uterus, misalnya ***albumen*** dan ***cangkang telur*** pada burung dan reptil, ***selaput lendir*** pada katak.

Pada tunicata dan ikan, membran vitelin dinamakan chorion (bedakan dengan selaput chorion yang dijumpai pada reptilia, burung, dan mamalia). Pada mamalia, zona pelusida menggantikan membran vitelin, sedangkan pada insekta membran vitelin dikelilingi oleh chorion yang keras atau cangkang (Majumdar, 1985).

Telur-telur amphibia dikelilingi oleh lapisan jelly yang melindungi telur dan memungkinkan telur-telur tetap berdekatan satu sama lain serta untuk menjaga agar telur tetap berada di bawah permukaan air atau menempel pada tanaman air. Jelly disekresikan ketika telur melewati oviduct (Sudarwati dan Nio, 1990).



Gambar 4.24 Diagram Struktur Telur Ayam dan Waktu Penelurannya  
Sumber: Carlson, 1988

Yolk pada telur ayam tidak seragam. Dikenal ada dua tipe yolk, yaitu yolk putih dan yolk kuning. Akumulasi yolk putih pada bagian tengah yolk membentuk daerah berbentuk flask yang disebut **latebra** yang merentang ke arah blastoderm dan melebar di bawahnya menjadi suatu massa yang disebut **nucleus of pander**. Di antara latebra dan **nucleus of pander** terdapat lapisan konsentris tipis yolk putih dan yolk kuning merupakan indikasi akumulasi harian selama hari ke 7 dan 8 sebelum ovulasi. Pada periode tersebut, pembentukan yolk berlangsung siang dan malam hari (Carlson, 1988).

Selaput telur yang paling kompleks ditemukan pada burung. Paling tidak ada lima selaput yang melingkupinya, yaitu:

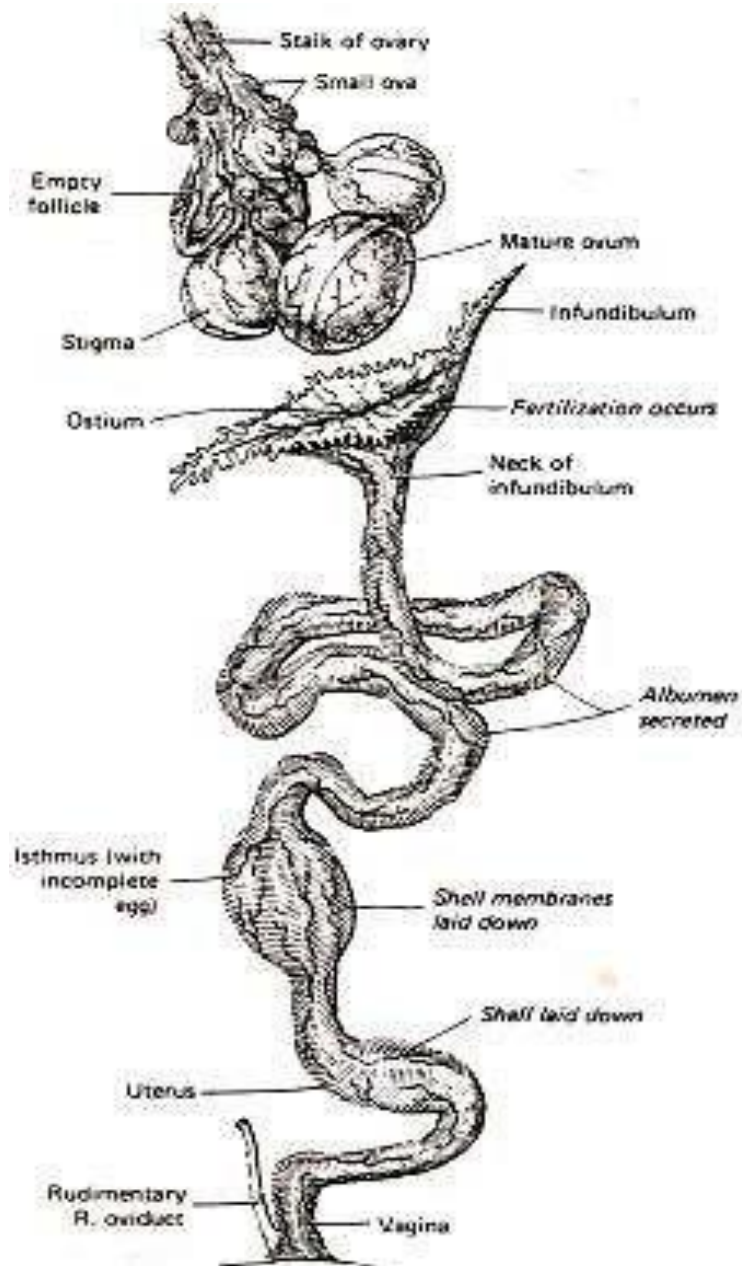
- Membran vitelin, yaitu selaput yang sangat tipis yang menutupi permukaan kuning telur (yaitu, sel telur yang sebenarnya). Selaput ini terdiri atas dua bagian yaitu (i) lapisan terdalam tersusun atas serat-serat yang sangat keras yang dihasilkan di



ovarium pada rongga antara oosit dan sel-sel folikel. Lapisan terluar terdiri dari serat yang lebih lunak yang dibentuk di atas lapisan pertama ketika telur masuk ke bagian teratas dari tuba fallopian.

- Putih telur (albumen) sebagian besar berada dalam keadaan cair. Bagian yang lebih padat dari putih telur membentuk benang yang disebut kalaza. Kalaza berfungsi memelihara sel telur agar tetap berada di pusat putih telur.
- Selaput cangkang dalam, tersusun atas serat-serat keratin, melekat pada putih telur.
- Selaput cangkang luar, tersusun atas tersusun atas serat-serat keratin dan melekat pada cangkang telur. Selaput cangkang dalam dan luar kontak satu sama lain, kecuali pada ujung telur yang tumpul, kedua selaput akan memisah membentuk ruang di antara keduanya.
- Cangkang, terutama tersusun atas  $\text{CaCO}_3$ . Cangkang memiliki banyak pori-pori yang diisi oleh substansi berupa protein organik.

Selaput telur pada burung disekresikan satu demi satu ketika telur turun ke oviduct. Seluruh proses ini terjadi dalam jangka waktu sedikit lebih lama dari 24 jam. Setelah telur diovulasikan, telur dengan cepat sampai ke oviduct dan turun melalui oviduct sekitar tiga jam. Selama waktu itu, sebagian besar dari putih telur dan selaput-selaput telur disekresikan. Di bagian paling bawah dari oviduct yang melebar (uterus), telur tinggal selama 20-24 jam dan sementara itu sisa-sisa putih telur, selaput cangkang dan cangkangnya sendiri disekresikan. Selaput telur pada burung, tidak hanya melindungi sel telur, tetapi juga berfungsi sebagai sumber makanan yang perlahan-lahan akan digunakan sejalan dengan perkembangan embrio (Sudarwati dan Nio, 1990).

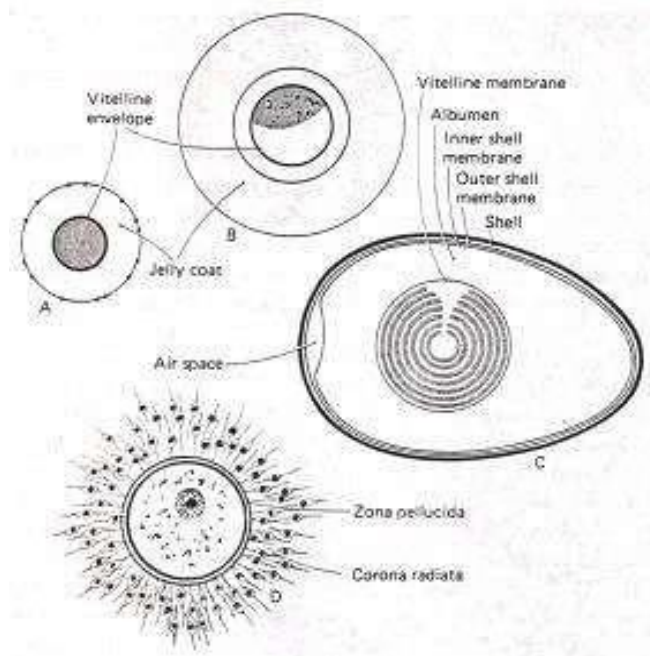


Gambar 4.25 Struktur Saluran Reproduksi Ayam  
Sumber: Carlson, 1988

Urutan-urutan selaput telur dari dalam ke luar pada berbagai jenis hewan adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.1 Perbandingan Pelindung Telur pada Beberapa Jenis Hewan**

Bintang Laut	Amphibia	Burung
1) Membran telur 2) Membran vitelin, tersusun atas glikoprotein 3) Selaput lendir, tersusun atas <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fukosa sulfat polisakarida</li> <li>▪ Glikoprotein</li> <li>▪ Protein-protein sederhana</li> </ul>	1) Oosit yang sangat awal <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Membran telur</li> <li>▪ Sel-sel folikel *</li> </ul> 2) Oosit tahun I <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Membran telur</li> <li>▪ Membran vitelin</li> <li>▪ Sel-sel folikel *</li> </ul> 3) Oosit pada saat ovulasi <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Membran telur</li> <li>▪ Membran vitelin</li> <li>▪ Selaput lendir</li> </ul>	1) Pada saat ovulasi <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Membran telur</li> <li>▪ Membran vitelin</li> </ul> 2) Pada saat berada di oviduct bagian atas <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Membran telur</li> <li>▪ Membran vitelin</li> <li>▪ Albumen yang dihasilkan oleh kelenjar oviduct</li> <li>▪ Membran cangkang yang dihasilkan oleh oviduct</li> <li>▪ Cangkang telur yang dihasilkan oleh kelenjar cangkang.</li> </ul>



Gambar 4.26. Perbandingan Pelindung Telur pada Berbagai Spesies (A) Bintang Laut, (B) Amphibia, (C) Unggas, dan (D) Mamalia  
Sumber: Carlson, 1988

## Latihan

1. Jelaskan tujuan gametogenesis!
2. Jelaskan proses migrasi bakal sel kelamin pada berbagai jenis hewan!
3. Jelaskan proses spermatogenesis pada hewan mamalia!
4. Jelaskan proses pengontrolan spermatogenesis pada hewan mamalia!
5. Jelaskan proses oogenesis pada hewan mamalia!
6. Jelaskan makna vitellogenesis dalam pematangan sel telur!
7. Buatlah minimal lima perbedaan antara spermatogenesis dan oogenesis!
8. Gambar dan jelaskan struktur sebuah sel sperma!
9. Buatlah perbandingan pelindung telur pada bintang laut, amphibia, aves dan mamalia!

# BAB V

## FERTILISASI

---

Fertilisasi pada berbagai jenis hewan dapat dibedakan berdasarkan tempat berlangsungnya, yaitu (i) fertilisasi secara eksternal, dan (ii) fertilisasi secara internal. Fertilisasi secara eksternal adalah fertilisasi yang berlangsung di luar tubuh induknya. Jenis fertilisasi ini banyak dijumpai pada hewan-hewan akuatik, antara lain berbagai jenis ikan, katak dan sebagainya. Fertilisasi secara internal adalah fertilisasi yang berlangsung di dalam tubuh induknya. Biasanya hewan yang fertilisasinya berlangsung secara internal menghasilkan telur yang matang dalam jumlah yang terbatas dalam satu kali siklus reproduksi, dan biasanya berkisar hanya 1 - 15 buah. Pada hewan yang fertilisasinya berlangsung secara eksternal, jumlah telur matang yang dihasilkan dalam satu kali pemijahan berkisar antara ratusan hingga ratusan ribu buah. Kenyataan ini sangat berkaitan dengan berbagai risiko lingkungan yang dialami oleh gamet setelah dilepaskan dari tubuh induknya antara lain perubahan lingkungan fisik, kimia, dan berbagai faktor-faktor biologis lain seperti kemungkinan untuk dimangsa oleh predator (Carlson, 1988)

Fertilisasi memiliki beberapa fungsi antara lain (i) transmisi gen dari paternal dan maternal kepada keturunannya, (ii) merangsang sel telur untuk berkembang lebih lanjut, (iii) menghasilkan terjadinya syngami, yaitu peleburan sifat genetis paternal dan maternal (iv) mempertahankan kondisi diploiditas suatu spesies tertentu dari jenisnya, (v) penentuan jenis kelamin secara genetis.

Pada dasarnya fertilisasi bukan merupakan proses tunggal, melainkan rangkaian proses yang melibatkan kedua gamet. Menurut Gilbert (1985), fertilisasi terdiri atas beberapa tahap yaitu: (i) kontak dan pengenalan antara spermatozoa dengan ovum, (ii) mengatur masuknya spermatozoa ke dalam telur, (iii) penyatuan materi genetik antara ovum dan spermatozoa, (iv) aktivasi metabolisme sel telur untuk memulai perkembangan. Menurut Carlson (1988), fertilisasi

terdiri atas tahap-tahap sebagai berikut: (i) kontak antara membran sel telur dengan membran spermatozoa, (ii) masuknya spermatozoa ke dalam sel telur, (iii) pencegahan polispermi oleh sel telur, (iv) aktivasi metabolisme telur (v) penyempurnaan meiosis oleh sel telur, (vi) pembentukan dan fusi pronukleus jantan dan pronukleus betina.

## **A. Transpor Gamet**

### **1. Transpor Ovum**

Perjalanan ovum menuju tempat berlangsungnya fertilisasi dikelompokkan menjadi tiga daerah yaitu (i) perjalanan melalui peritoneum, (ii) perjalanan melalui tuba fallopi, dan (iii) perjalanan ke luar tubuh induk bagi hewan yang fertilisasinya berlangsung secara eksternal.

Setelah berlangsungnya ovulasi sel telur jatuh ke peritoneum dan ditangkap oleh infundibulum. Infundibulum berbentuk menjari dan berperan untuk menangkap sel telur yang keluar dari ovarium dengan tepat, dan kecil kemungkinan untuk gagal atau jatuh ke dalam rongga abdomen. Infundibulum dapat melakukan gerakan dan bersifat mengisap.

Pada mamalia ovarium terpisah dari tuba fallopi ketika ovulasi berlangsung. Infundibulum bergerak mendekati dan mengelilingi ovarium. Selain itu ovarium dapat pula mengalami perubahan posisi sehingga dapat masuk ke arah infundibulum ketika ovulasi berlangsung. Sementara itu cairan infundibulum juga memiliki daya adhesi terhadap ovum yang keluar dari ovarium.

Gerakan ovum dari ovarium menuju tuba fallopi disebabkan oleh gerak mengayuh dari silia pada epitel dinding tuba dan kontraksi otot pada dinding tuba. Pada berbagai spesies, daya tahan ovum setelah diovulasikan bervariasi. Pada manusia umumnya hanya bertahan sekitar 24 jam. Pada mamalia rendah (monotremata dan marsupialia), hanya bertahan selama beberapa jam. Pada kera hanya dapat hamil bila ovulasi berlangsung pada saat ovulasi. Ovum yang tidak dibuahi akan mengalami penyusutan dan berdegenerasi (Yatim, 1982).

Sebelum fertilisasi berlangsung keadaan dari telur pada berbagai spesies sangat bervariasi. Pada anjing dan serigala, fertilisasi

berlangsung pada saat oosit masih dalam stadium oosit primer, lalu meiosis pertama dan kedua berlangsung setelah fertilisasi. Pada amphioxus, meiosis pertama sudah selesai ketika sperma masuk, sedangkan pada beberapa invertebrata oosit sekunder sudah terbentuk sebelum sperma masuk.

## **2. Transpor Spermatozoa**

Setelah sperma mengalami proses pematangan di dalam gonad jantan, selanjutnya ia akan dilepaskan menuju tempat di mana ia akan berfungsi. Secara umum sperma yang matang menempuh tiga perjalanan yaitu (i) di dalam tubuh jantan, (ii) di luar tubuh jantan bagi hewan yang fertilisasinya berlangsung secara eksternal, dan (iii) di dalam tubuh hewan betina bagi hewan yang fertilisasinya berlangsung secara internal. Di dalam tubuh hewan jantan, sperma akan menempuh perjalanan sepanjang saluran-saluran reproduksi jantan, dan hal yang pertama kali terjadi adalah sperma keluar dari saluran penghasil sperma atau tubulus seminiferus menuju vas efferen sebagai akibat meningkatnya tekanan volume di dalam tubulus seminiferus. Peningkatan tekanan di dalam tubulus seminiferus disebabkan oleh (i) meningkatnya sekresi plasma oleh sel-sel sertoli yang terdapat pada dinding tubulus seminiferus, (ii) masuknya cairan dari ruang antar sel pada jaringan interstisial ke dalam tubulus seminiferus, dan (iii) semakin meningkatnya jumlah sperma yang dihasilkan (Yatim, 1982) Di dalam vas efferen, sperma bergerak dengan lambat dan berlangsung selama beberapa hari. Gerakan sperma yang berlangsung di dalam vas efferen disebabkan oleh (i) meningkatnya produksi sperma dan plasma sehingga mendesak sperma yang ada di depannya untuk bergerak maju, dan (ii) gerakan mengayuh dari silia yang terdapat pada dinding vas efferen.

Sperma yang terdapat di dalam vas efferen selanjutnya bergerak menuju epididimis. Gerakan sperma di dalam epididimis berlangsung lebih lambat dibandingkan dengan di vas efferen, dan dapat berlangsung hingga beberapa minggu sampai mendekati satu bulan. Sambil bergerak, sperma mengalami pematangan fisiologis. Gerakan sperma di dalam epididimis disebabkan oleh: (i) tekanan volume yang meningkat dari vas efferen, (ii) kontraksi otot pada dinding epididimis,



(iii) akumulasi getah kelenjar dinding epididimis berupa plasma, dan (iv) kontraksi dinding vas efferent secara bergerak maju ke arah distal (Yatim, 1982).

Dari epididimis, sperma bergerak menuju vas deferens. Gerakan tersebut disebabkan oleh kontraksi otot dinding vas deferens, terutama pada hewan yang fertilisasinya berlangsung secara internal. Kontraksi dinding vas deferens jarang terjadi dan biasanya pada saat terjadi coitus atau oleh rangsangan seks yang kuat pada berbagai jenis hewan. Vas deferens dapat berfungsi sebagai tempat penyimpanan sperma hingga berbulan-bulan, misalnya pada pisces sperma dapat disimpan selama 5 - 6 bulan hingga musim kawin tiba.

Di dalam vas deferens, sperma menerima getahan plasma dari vesikula seminalis hingga jumlah plasma menjadi meningkat. Bagian vas deferens yang menerima getahan dari vesikula seminalis disebut ampulla. Ampulla dapat juga berperan sebagai tempat penyimpanan sementara bagi sperma. Pada sapi sperma dapat bertahan 2 hingga 3 hari. Dari vas deferens sperma selanjutnya bergerak menuju ductus ejakulatori.

Pada berbagai jenis hewan di mana fertilisasinya berlangsung secara eksternal misalnya berbagai jenis invertebrata, ikan dan amphibia, sperma dikeluarkan oleh pejantan di dekat telur yang baru dikeluarkan oleh betinanya. Peristiwa tersebut dinamakan spawning. Sperma bergerak aktif melalui air untuk mencapai telur, dan selanjutnya melakukan aktivitas fertilisasi.

Pada hewan di mana fertilisasinya berlangsung secara internal, perjalanan sperma di luar tubuh tidak berlangsung karena sperma secara langsung diantarkan menuju saluran kelamin betina melalui alat-alat yang khusus. Pada pisces (gabus dan hiu), sirip anal atau sirip pelvis berubah bentuk sebagai alat untuk memasukkan sperma ke dalam tubuh betinanya. Pada urodela, reptil, dan aves, kloaka jantan berfungsi sebagai alat untuk memasukkan sperma dengan jalan mengadakan kontak langsung dengan kloaka betina. Pada kloaka betina terdapat divertikulum yang disebut spermatheca yang berperan sebagai tempat penyimpanan sperma. Pada itik, kasuari, dan burung unta, kloaka terjulur panjang ketika berlangsung coitus. Pada mamalia, sperma diantarkan ke saluran kelamin betina melalui alat

kelamin khusus yang sangat terspesialisasi yang disebut penis.

Sperma yang telah memasuki saluran kelamin betina selanjutnya meneruskan perjalanannya menuju tempat berlangsungnya fertilisasi. Bila fertilisasi berlangsung pada bagian posterior tuba fallopi, maka perjalanan sperma menjadi lebih dekat, sedangkan bila fertilisasi berlangsung pada bagian anterior tuba fallopi, maka perjalanan sperma menjadi lebih jauh. Di dalam saluran kelamin betina, pergerakan sperma disebabkan oleh: (i) gerakan berenang aktif dari sperma itu sendiri (ii) kontraksi antiperistalsis saluran kelamin betina yaitu vagina, cervix, uterus dan tuba fallopi.

Kecepatan pergerakan sperma di dalam saluran kelamin betina tergantung pada spesiesnya. Pada tikus, mencit dan domba berkisar 15 menit, pada manusia 30 menit sampai 3 jam, dan pada kelinci dan ayam berkisar 1 jam. Daya tahan sperma di dalam saluran kelamin betina bervariasi. Pada ikan gabus dapat mencapai 1 tahun, pada urodela, sperma dapat bertahan di dalam spermatheca hingga berbulan-bulan, pada ayam dapat bertahan hingga 2-3 minggu, dan pada kebanyakan mamalia, sperma hanya mampu bertahan selama 1 - 3 hari, pada kelinci berkisar 10-14 jam, dan marmut berkisar 40 jam.

## **B. Kapasitas Spermatozoa**

Sperma pada mamalia tidak mampu untuk memfertilisasi telur sebelum mengalami suatu proses yang disebut kapasitasi. Kapasitasi dapat diartikan sebagai kemampuan dari sperma untuk memfertilisasi telur. Proses kapasitasi berlangsung di dalam uterus dan tuba fallopi. Kapasitasi dapat juga diartikan sebagai suatu proses yang meliputi proses pembukaan reseptor, pelepasan inhibitor atau stabilisator pada permukaan sperma (Suhana dan Rafiah, 1982).

Telah diketahui bahwa di dalam plasma seminal ditemukan inhibitor proteinase yang identik dengan inhibitor proteinase yang terdapat pada sperma. Sementara itu sperma di dalam epididimis mempunyai aktivitas proteinase (akrosin) yang lebih tinggi daripada sperma ejakulat. Rupanya selama sperma berada di dalam saluran kelamin jantan, sperma menghimpun inhibitor proteinase. Namun selama berada di dalam saluran kelamin betina, inhibitor proteinase dilepaskan kembali dalam proses kapasitasi. Hubungan antara

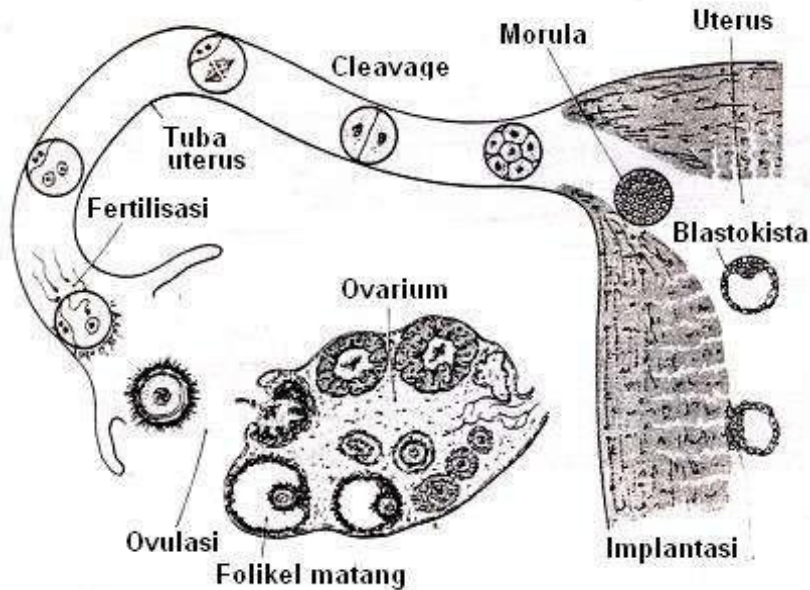
kapasitasi dengan inhibitor proteinase telah dibuktikan melalui percobaan dimana sperma yang telah mengalami kapasitasi disuspensikan kembali ke dalam plasma seminal (dekapasitasi), maka daya memfertilisasinya hilang kemampuan memfertilisasinya diperoleh kembali bila dibiarkan kembali berada di dalam saluran kelamin betina, inhibitor proteinase dilepaskan kembali dalam proses kapasitasi. Hubungan antara kapasitasi dengan inhibitor proteinase telah dibuktikan melalui percobaan dimana sperma yang telah mengalami kapasitasi disuspensikan kembali ke dalam plasma seminal (dekapasitasi), maka daya memfertilisasinya hilang Kemampuan memfertilisasinya diperoleh kembali bila dibiarkan kembali berada di dalam saluran kelamin betina beberapa saat lamanya. Rupanya dalam proses kapasitasi terjadi pelepasan inhibitor proteinase dan proses tersebut merupakan hal yang sangat penting, karena bila tidak dilepaskan akan menghalangi proses bekerjanya enzim-enzim proteinase yang terdapat di dalam akrosom.

Kapasitasi diinduksi oleh sekresi-sekresi yang dihasilkan oleh saluran-saluran kelamin betina. Pada mamalia, kapasitasi berlangsung dua tahap yaitu: (i) tahap pertama berlangsung di dalam uterus, dan (ii) tahap kedua berlangsung di dalam tuba fallopi. Sperma yang telah mengalami kapasitasi dapat menempel secara khusus pada glikoprotein utama yang terdapat pada zona pelusida, dan selanjutnya memicu sperma untuk melangsungkan reaksi akrosom. Pada hewan yang fertilisasinya berlangsung secara eksternal, kapasitasi dapat berlangsung di dalam medium air (Albert et al.,1983).

Pada telur-telur ikan, korionnya mengandung suatu lubang yang merupakan tempat lewatnya sperma masuk ke dalam telur. Lubang tersebut dinamakan mikropil. Bilamana sperma mendekati mikropil pada telur, sperma akan terangsang untuk bergerak cepat untuk mencari daerah mikropil (Saunders, 1979).

Tempat fertilisasi pada berbagai jenis hewan sangat bervariasi, namun tertentu untuk setiap jenis hewan. Pada beberapa jenis hewan, tempat berlangsungnya fertilisasi antara lain (i) pada bagian posterior tuba fallopi misalnya pada urodela, gymnophiona, dan beberapa jenis anura, (ii) di bagian anterior tuba fallopi, misalnya pada reptilia, aves, elasmobranchii dan mamalia, (iii) pada rongga

peritoneum antara ovarium dan infundibulum misalnya pada jenis urodela dan aves tertentu, (iv) pada folikel ovarium, misalnya pada ikan gabus, dan (v) didalam air misalnya pada katak.



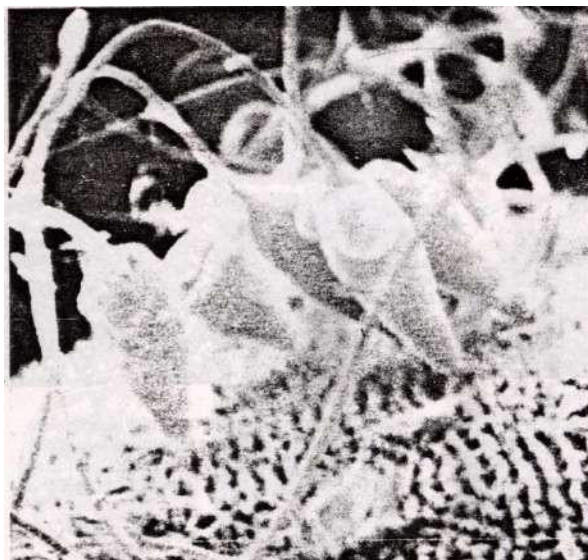
Gambar 5.1 Ovulasi, Tempat Fertilisasi, Awal Pembelahan  
Sumber: Carlson, 1988

### C. Pengenalan Spermatozoa dan Sel Telur

Informasi pertama tentang reaksi penempelan sperma dengan telur terjadi pada tahun 1912 dari hasil penelitian Lillie. Ia mengemukakan bahwa sperma pada bulu babi yang diletakkan bersama telur dalam suatu cawan yang berisi air laut cenderung beraglutinasi. Dari kenyataan tersebut ia menduga bahwa permukaan telur bulu babi mengandung molekul-molekul reseptor yang konfigurasiya sesuai dengan molekul-molekul yang terdapat pada permukaan sperma. Ia memberi nama kedua molekul tersebut masing-masing sebagai fertilisin pada telur dan antifertilisin pada sperma. Fertilisin pada telur biasa disebut sebagai binding reseptor glikoprotein, sedangkan anti fertilisin pada sperma disebut sebagai binding.

Telur pada cacing, moluska, dan bintang laut diketahui

mengandung fertilisin yang diduga dihasilkan oleh sel-sel folikel yang mengelilingi sel telur. Fertilisin adalah suatu glikoprotein yang mengandung glukosa, fruktosa, dan galaktosa dengan berat molekul 300.000, sedangkan antifertilisin adalah suatu protein asam dengan berat molekul 10.000. Reaksi aglutinasi fertilisin-antifertilisin adalah spesifik sehingga kemungkinan terjadinya reaksi silang sangat kecil. Reaksi fertilisin-antifertilisin merupakan reaksi pendahuluan dari reaksi akrosom, berfungsi menempelkan sperma pada permukaan telur supaya reaksi-reaksi berikutnya dapat berlangsung (Suhana dan Rafiah, 1982). Pada bulu babi, lendir yang mengelilingi sel telur merupakan fertilisin murni. Air laut yang telah ditempati oleh telur bulu babi atau arbacia selama beberapa waktu mengandung sejumlah fertilisin. Bilamana sperma dimasukkan ke dalamnya, maka terjadi penggumpalan (Saunders, 1979).



Gambar 5.2 Sperma Bintang Laut Melekat pada Membran Vitelin yang Mengelilingi Sel Telur

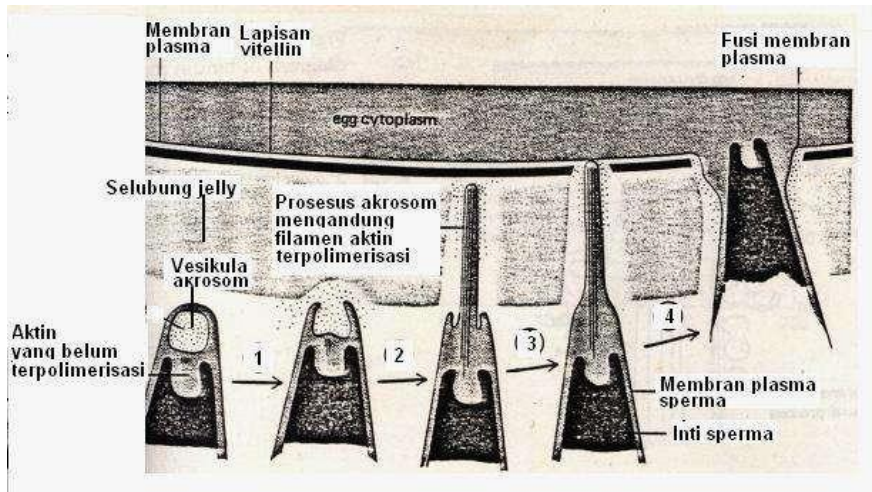
Sumber: Carlson, 1988

#### **D. Penetrasi Spermatozoa ke dalam Sel Telur**

Penetrasi sperma ke dalam telur didahului oleh reaksi akrosom. Pada bintang laut, reaksi akrosom dapat dimulai bila terjadi kontak antara selaput lendir pada telur dengan sperma. Selain itu penetrasi sperma pada telur dapat diinduksi secara artifisial dengan

meningkatkan konsentrasi ion kalsium. Pada bintang laut, kontak antara sperma dengan selaput lendir akan merangsang berlangsungnya reaksi akrosom pada sperma. Reaksi tersebut dipicu oleh fukosa sulfat polisakarida yang terdapat pada selaput lendir.(Carlson, 1988). Hal tersebut menyebabkan pecahnya vesikula akrosom dan melepaskan enzim-enzim yang dikandungnya (enzim-enzim proteinase). Enzim-enzim tersebut bertanggung jawab untuk mencerna selaput lendir hingga sperma dapat sampai pada permukaan telur (Gilbert, 1985). Enzim-enzim akrosom meliputi antara lain enzim hyaluronidase, tripsin atau proteinase akrosom, enzim penetrasi korona, dan neuraminidase. Tidak semua enzim yang disebutkan di atas mutlak terdapat di dalam vesikula akrosom, tergantung pada jenis spesiesnya. Enzim hyaluronidase bertanggung jawab melarutkan matriks kumulus ooforus. Enzim proteinase akrosom atau akrosin bertanggung jawab pada zona pelusida, enzim-enzim penetrasi korona bertanggung jawab menghancurkan korona radiata, dan neuraminidase bertanggung jawab untuk menginduksi reaksi zona, yaitu suatu reaksi yang menghalangi terjadinya polispermi

Pada gambar 5.3 ditunjukkan tahap-tahap berlangsungnya reaksi akrosom pada bintang laut. Bila sperma kontak dengan selaput lendir, menyebabkan vesikula akrosom pecah diikuti dengan terjadinya polimerisasi aktin untuk membentuk tonjolan akrosom yang menembus selaput lendir. Protein-protein yang dilepaskan dari vesikula akrosom akan melekat pada permukaan tonjolan akrosom, dan selanjutnya mengikat sperma pada membran vitelin dan sekaligus mencerna lapisan tersebut. Kejadian selanjutnya adalah fusi di antara membran akrosom dengan membran telur diikuti dengan terjadinya perombakan filamen aktin, dan selanjutnya sperma memasuki sel telur (Albert et al., 1983).



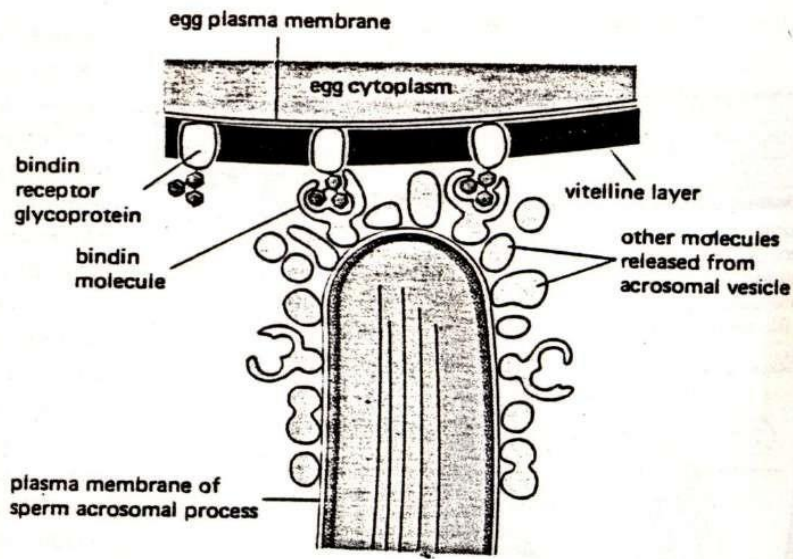
Gambar 5.3 Tahap-Tahap Reaksi Akrosom pada Bintang Laut

Sumber: Albert *et al*, 1983

Pada gambar 5.3 ditunjukkan suatu skema mengenai molekul-molekul binding yang menutupi permukaan tonjolan akrosom pada sperma bintang laut. Molekul-molekul binding tersebut dapat terikat pada reseptor glikoprotein yang berhubungan dengan membran vitelin pada telur.

Pada mamalia, sperma yang telah mengalami kapasitasi terikat secara khusus pada glikoprotein yang terdapat pada zona pelusida. Selanjutnya sperma mengalami reaksi akrosom dan vesikula-vesikula akrosom melepaskan enzim-enzim yang dikandungnya. Sejumlah enzim-enzim hidrolitik yang dilepaskan membantu sperma menembus zona pelusida, dan selanjutnya membran telur berfusi dengan membran sperma. Dalam hal ini terdapat sedikit perbedaan antara amphioxus dan mamalia. Pada amphioxus, interaksi antara membran telur dan membrane sperma berlangsung pada bagian depan kepala sperma.

Sperma pada mamalia interaksi antara membran sperma dan membran sel telur berlangsung pada bagian sisi dari kepala sperma pada daerah equatorial atau daerah post akrosom.

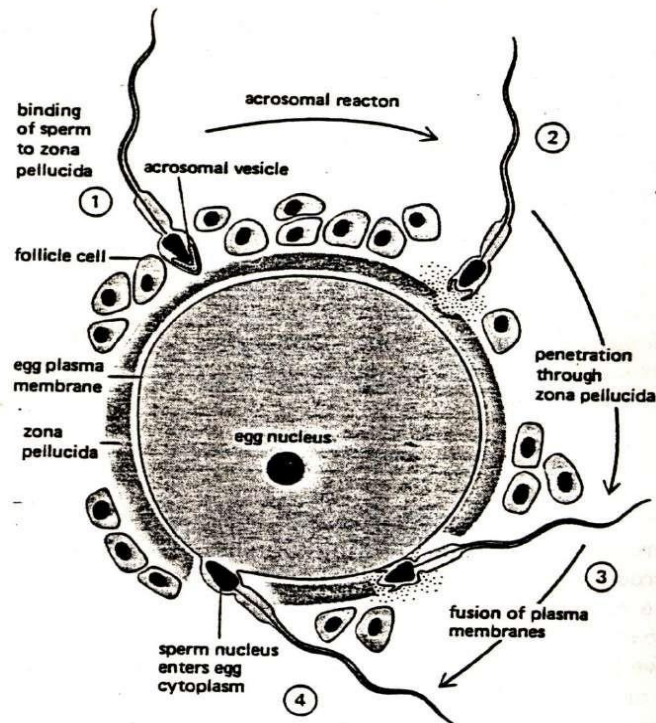


Gambar 5.4 Diagram Skematis Molekul-molekul Binding yang Terdapat pada  
Tonjolan Akrosom Sperma Bintang Laut  
Sumber: Albert *et al.* 1983

Pada gambar 5.4 ditunjukkan suatu ilustrasi mengenai reaksi akrosom yang berlangsung pada mamalia jika suatu sperma membuahi sel telur. Glikoprotein yang terdapat pada zona pelusida bertanggung jawab untuk mengikat sperma dan menginduksi reaksi akrosom. Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa interaksi antara membran sperman dan membran telur berlangsung secara tangensial.

Pada bintang laut, jika komponen-komponen polisakarida yang terdapat pada selaput lendir telur diekstrak, dan ditambahkan pada sperma pada spesies yang sama, maka ekstrak tersebut akan menginduksi berlangsungnya reaksi akrosom. Polisakarida tersebut bekerja dengan cara menginduksi influx ion  $\text{Ca}$  ke dalam kepala sperma dan menginisiasi pelepasan vesikula akrosom. Pada waktu yang sama influx ion  $\text{Ca}$  menginduksi efflux ion  $\text{H}$  untuk bertukar dengan ion  $\text{Na}$ , dan menyebabkan pH di dalam kepala sperma meningkat. pH yang tinggi selanjutnya menginisiasi polimerisasi aktin dan pembentukan tonjolan akrosom atau tubulus akrosom.

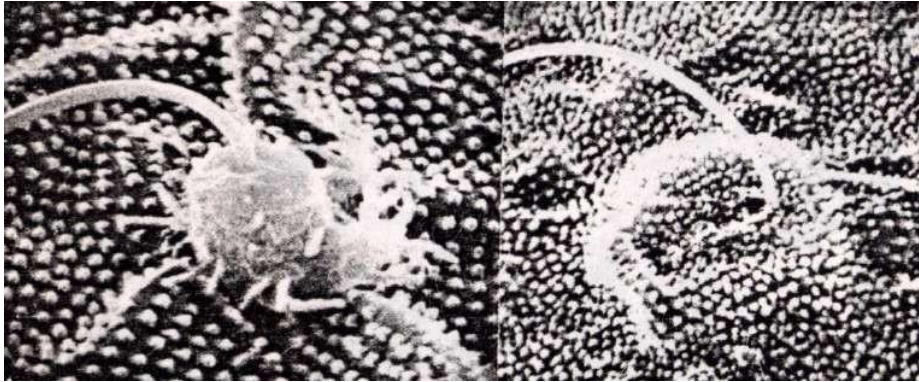




Gambar 5.5 Reaksi Akrosom yang Berlangsung pada Sperma Mamalia  
Sumber: Albert *et al.*, 1983

Dahulu ada anggapan bahwa dalam reaksi akrosom, sperma memegang peranan yang sangat penting, namun penelitian terakhir menunjukkan bahwa proses tersebut merupakan reaksi bersama di mana sperma dan sel telur memegang peranan yang penting. Ada anggapan yang menyatakan bahwa aktivitas korteks sitoplasma sel telur akan menghasilkan suatu tabung fertilisasi akibat rangsangan dari proses akrosom yang berfungsi sebagai activator. Tabung fertilisasi ini kemudian akan tumbuh meliputi kepala sel sperma (Sudarwati dan Nio, 1990).

Proses akrosom yang tumbuh menuju permukaan sel telur menyebabkan inti sel sperma dapat bersatu dengan membran plasma sel telur setelah tabung fertilisasi terbentuk. Hal ini menyebabkan telur menjadi aktif, granula-granula korteks dilepaskan dan melebur membentuk membran fertilisasi.



A

B

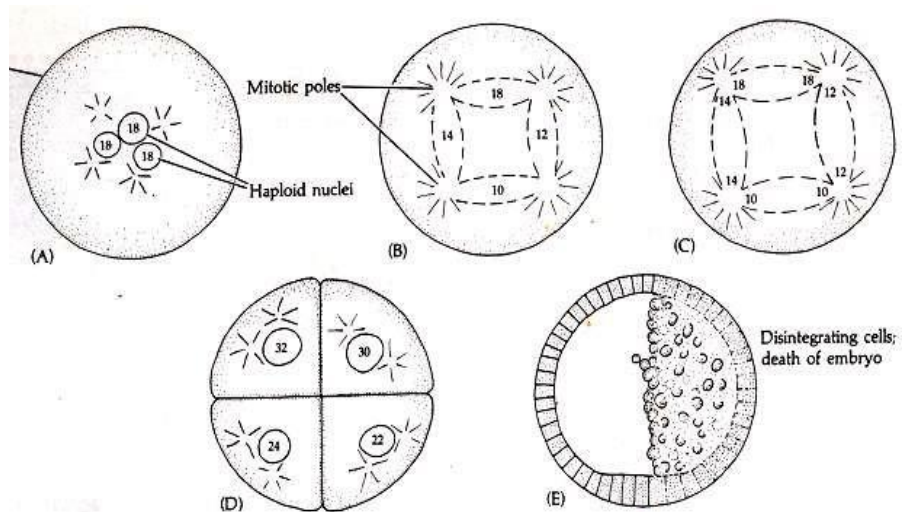
Gambar 5.6 Sperma Bintang Laut dengan Setengah Kepala Tertanam ke dalam Telur dan Kepala dan Midpiece Tertanam secara Sempurna ke dalam Telur

Sumber: Carlson, 1988

### E. Pencegahan Polispermi

Telur dapat dicapai oleh sperma lebih dari satu, namun secara normal hanya satu yang berfusi dengan membran plasma sel telur, dan selanjutnya inti haploid dari sperma dan telur berfusi membentuk satu inti yang diploid. Peristiwa dimana hanya satu sperma yang mampu membuahi sel telur disebut monospermi. Bila satu sel telur dibuahi oleh lebih dari satu sperma disebut polispermi. Polispermi menyebabkan terbentuknya spindel ekstra mitosis dan menyebabkan segregasi kromosom selama pembelahan atau cleavage menjadi abnormal. Sel-sel yang dihasilkan adalah sel triploid dan menyebabkan perkembangan embrio menjadi terhenti (Albert et al., 1983).

Pada gambar 6.6 ditunjukkan suatu hasil percobaan yang berlangsung secara artifisial pada bintang laut. Pada percobaan tersebut satu sel telur dibuahi oleh dua sperma dan menghasilkan inti yang triploid. Dalam kondisi normal spindel bipolar mitosis akan membagi kromosom ke dalam dua sel anak secara proporsional. Pada inti triploid, kromosom triploid dibagi ke dalam empat sel anak, di mana setiap sel anak mendapatkan jumlah kromosom yang tidak sama dan sel-sel embrio akan mengalami kematian atau berkembang secara tidak normal.



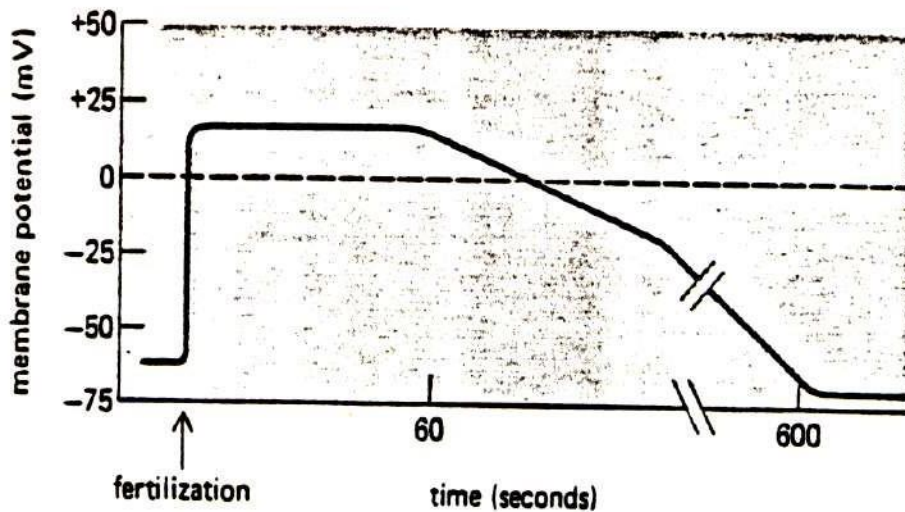
Gambar 5.7 Perkembangan Dispermik Telur Bintang Laut. (A) Fusi Tiga Inti Haploid, Setiap Inti Mengandung 18 Kromosom. Pembelahan dari Dua Sentriol Sperma Membentuk 4 Kutub Mitosis. (B) 54 Kromosom Tersusun secara Random pada Empat Spindel Mitosis [C] Pada Anafase Pertama, Kromosom Diduplikasi Keempat Kutub (D) 4 Sel Anak Mengandung Jumlah dan Tipe Kromosom Berbeda  
Sumber: Gilbert, 1985

Pada umumnya satu sel telur hanya dibuahi oleh satu sperma, akan tetapi bukan tidak mungkin bahwa satu sel telur dimasuki oleh banyak sperma, misalnya telur-telur pada burung, reptilian dan beberapa spesies amphibia dan insekta. Dalam hal tersebut hanya satu sperma yang menyumbangkan bahan genetik dari tetua jantan, sedangkan sperma lainnya akan hancur (Saunders, 1970).

Sel telur memiliki cara untuk mencegah terjadinya polispermi. Pada bintang laut pencegahan polispermi dapat berlangsung dalam dua cara yaitu (i) depolarisasi membran plasma, dan (ii) reaksi korteks telur

### 1. Depolarisasi Membran Plasma

Depolarisasi membran plasma merupakan cara pencegahan polispermi yang cepat atau fast block to polyspermy, sedangkan reaksi korteks telur merupakan cara pencegahan polispermi lambat atau *slowblock to polyspermy* (Albert et al, 1983; Gilbert, 1985; dan Carlson, 1988).



Gambar 5.8 Grafik yang Menunjukkan Perubahan-perubahan Potensial Membran Sel Telur Bintang Laut setelah Fertilisasi  
Sumber: Albert *et al.*, 1983

Depolarisasi membran sel telur meliputi perubahan-perubahan potensial elektrik membran yang berlangsung dengan cepat, mungkin hanya beberapa detik segera setelah sperma memasuki telur. Seperti halnya dengan membran sel yang lain, membran sel telur dapat membangkitkan potensial membran yang berbeda yang disebut resting potensial membran. Pada telur yang telah dibuahi, resting potensial membrannya adalah -60 mv. Fusi tubulus akrosom sperma dengan membran plasma telur, menyebabkan membran plasma mengalami depolarisasi dengan cepat. Hal tersebut disebabkan oleh influx Na yang cepat ke dalam sel, dan dengan segera potensial membran lokal berubah dari -60 mv ke +20 mv, dan selama 2-3 detik potensial membran sel seluruhnya menjadi +20 mv (gambar 5.8). Potensial membran yang positif menyebabkan sperma yang lain tidak dapat berfusi dengan membran plasma sel telur. Kejadian tersebut merupakan dasar penghambatan polispermi yang berlangsung dengan cepat (Albert *et al.*, 1983; Carlson, 1988).

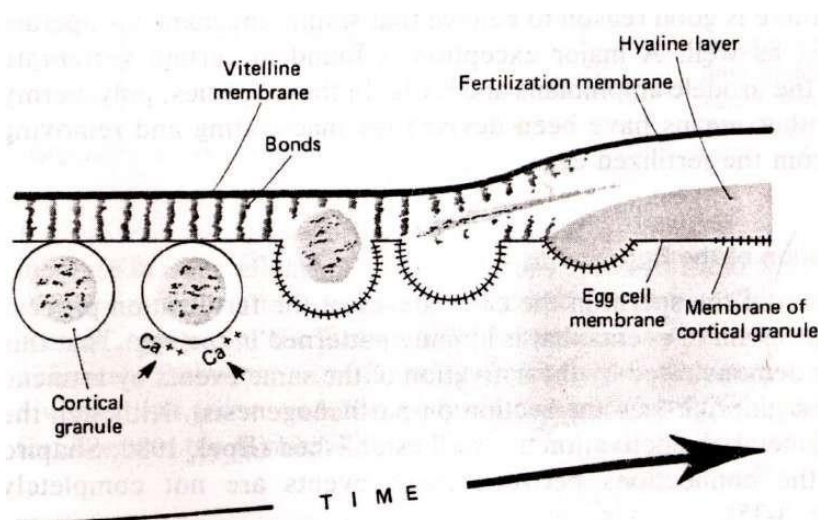
Kejadian-kejadian selama depolarisasi membran atau penghambatan polispermi dengan cara cepat menginisiasi berlangsungnya reaksi korteks telur atau penghambatan polispermi dengan cara lambat, namun bersifat permanen. Tahap pertama reaksi

korteks telur adalah mobilisasi ion-ion  $\text{Ca}^{2+}$  dari dalam sel telur. Ion  $\text{Ca}^{2+}$  pertama kali dilepaskan pada tempat masuknya sperma dan menyebabkan granula-granula korteks pecah dan isinya dilepaskan kedalam ruang perivitelin. Pecahnya granula-granula korteks dimulai pada tempat masuknya sperma dan menyebar melalui korteks ke segala arah menuju kutub yang berlawanan dengan telur (Saunders, 1970; Carlson, 1988).

## 2. Reaksi Korteks Telur

Telur pada bintang laut mengandung kurang lebih 15.000 granula-granula korteks. Setiap granula korteks mengandung campuran enzim-enzim, protein-protein struktural, dan mukopolisakarida sulfat atau glikosaminoglikan (Carlson, 1988).

Sebagai tanggapan terhadap ion-ion kalsium, granula-granula korteks bergerak ke permukaan dalam membran plasma dan berfusi dengannya. Fusi membran plasma dengan membran granula korteks membentuk membran ganda pada daerah permukaan membran plasma. Beberapa dari membran granula menghasilkan mikrovili dan bagian-bagian dari membran granula yang lainnya menjadi bagian dari membran telur (Carlson, 1988).



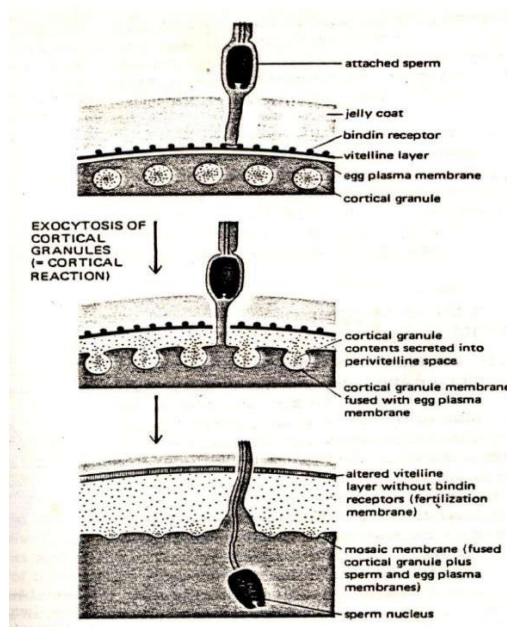
Gambar 5.9 Kejadian-kejadian Utama pada Reaksi Korteks Bintang Laut dan Pembentukan Membran Fertilisasi

Sumber: Carlson, 1988

Urutan kejadian-kejadian yang mengikuti pelepasan isi granula korteks ditunjukkan pada gambar 5.9. Enzim-enzim proteolitik



memecah ikatan-ikatan molekul yang mengikatkan membran vitelin dengan membran plasma telur. Pada waktu yang sama, mukopolisakarida sulfat yang mempunyai afinitas yang tinggi terhadap air mulai membengkak dan mengangkat membran vitelin dari membran plasma sel telur. Membran vitelin kini disebut sebagai membran fertilisasi. Jadi membran fertilisasi adalah nama baru yang diberikan pada membran vitelin setelah mengalami serangkaian perubahan selama berlangsungnya reaksi korteks. Mukopolisakarida yang terhidrasi membentuk lapisan hialin yang terdapat di antara membran plasma dan membran fertilisasi.



Gambar 5.10 Tahap-Tahap Reaksi Korteks Telur pada Bintang Laut  
Sumber: Albert, *et al.*, 1988

Reseptor-reseptor yang terdapat pada membrane fertilisasi dicerna oleh enzim-enzim yang dilepaskan oleh granula korteks. Kejadian ini menyebabkan sperma yang lain tidak dapat lagi menempel pada permukaan sel telur (Carlson, 1988). Pada gambar 5.10 ditunjukkan skema diagramatis yang memperlihatkan bagaimana reaksi korteks telur bintang laut mencegah sperma lain memasuki sel telur.

Tahap akhir dari reaksi korteks adalah berkaitan dengan dilepaskannya enzim ovoperoksidase dari granula-granula korteks. Pada saat berlangsungnya reaksi korteks, sel telur melepaskan hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ), suatu oksidator kuat yang dapat membunuh sperma lain yang menembus membran vitelin.

Penghambatan polispermi merupakan cara yang efektif untuk memelihara integritas genetic pada sel telur yang telah dibuahi. Pada sel telur bintang laut, reaksi korteks paling sedikitnya memiliki dua efek yang berbeda, yaitu:

- Enzim-enzim proteolitik dilepaskan dari granula-granula korteks dengan cepat menghancurkan glikoprotein yang berperan sebagai reseptor binding untuk perlekatan sperma.
- Kandungan granula-granula korteks yang dilepaskan menyebabkan membrane vitelin yang ada di bagian atas membrane plasma bergerak ke atas, dan pada waktu yang sama enzim-enzim cross link protein pada membran vitelin dilepaskan. Dengan cara tersebut membrane fertilisasi dibentuk dan sperma tidak mampu untuk menembusnya.

Pada telur mamalia, reaksi korteks aktif dengan cara yang sama untuk mencegah polispermi. Glikoprotein yang terdapat pada zona pelusida berubah sehingga tidak dapat mengikat sperma.

## **F. Aktivasi Metabolisme Telur**

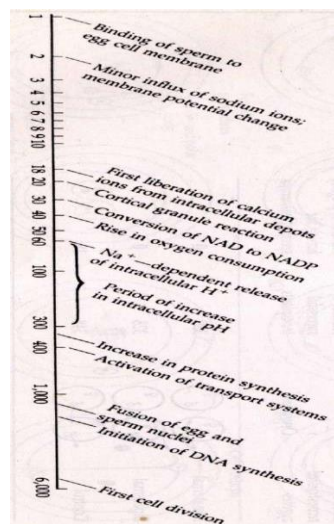
Fungsi utama sperma pada awal fertilisasi adalah untuk mengaktifkan program-program yang telah ada di dalam telur sebelumnya. Aktivasi sel telur dimulai dengan influx  $Na^+$  yang dihubungkan dengan depolarisasi membrane pada penghambatan polispermi cepat. Ini terutama untuk melepaskan ion  $Ca^{2+}$  intraseluler yang berfungsi untuk merangsang serangkaian kejadian-kejadian berikutnya. Kejadian-kejadian yang dimaksud meliputi Peningkatan konsumsi oksigen hingga lima kali lipat (kemungkinan berhubungan dengan pembentukan  $H_2O_2$ ). Aktivasi enzim-enzim NAD kinase untuk biosintesis membrane lipida baru, dan influks kedua  $Na^+$  berkaitan dengan efluks  $H^+$  dari sel untuk meningkatkan pH intraseluler. Hal tersebut tampak pada menit 1 s/d 5 setelah dimulainya kontak sperma dan sel telur. Peningkatan pH terutama untuk meningkatkan sintesis

protein, aktivasi sistem transport di dalam telur dan akhirnya menginisiasi sintesis DNA untuk persiapan pembelahan pertama (Carlson, 1988).

Urutan kejadian-kejadian selama berlangsungnya fertilisasi pada telur bintang laut, yaitu:

- 1) Terikatnya sperma pada permukaan membrane sel telur.
- 2) Influx ion-ion  $\text{Na}^+$  yang menyebabkan terjadinya perubahan potensial membrane.
- 3) Pembebasan ion-ion  $\text{Ca}^{2+}$  dari tempat penyimpanan intraseluler.
- 4) Konversi NAD menjadi NADP oleh NAD kinase.
- 5) Konsumsi oksigen meningkat.
- 6)  $\text{Na}^+$  bergantung pada pelepasan  $\text{H}^+$  intraseluler.
- 7) Peningkatan pH intraseluler.
- 8) Peningkatan sintesis protein.
- 9) Aktivasi sistem transport.
- 10) Fusi pronukleus jantan dan pronukleus betina.
- 11) Inisiasi sintesis DNA.
- 12) Pembelahan sel yang pertama.

Beberapa hasil eksperimen menunjukkan bahwa pelepasan ion kalsium sangat penting untuk mengaktivasi metabolisme telur.



Gambar 5.11 Kejadian Utama selama Berlangsungnya Fertilisasi Bintang Laut

Sumber: Gilbert, 1985



## G. Aktivasi Spermatozoa di dalam Sel Telur

Ada beberapa pendapat mengenai berapa bagian dari sel sperma yang memasuki sel telur. Pada beberapa jenis hewan terjadi penetrasi seluruh bagian kepala, leher, dan juga kadang-kadang ekornya. Pada ekinodermata, ekor selalu ditinggalkan di luar, bahkan pada Nereis (polychaeta) bagian leher juga tidak memasuki sel telur. Pada umumnya bagian leher selalu memasuki sitoplasma sel telur, namun belum ada bukti tentang kegunaannya kecuali bagian sentromernya. Mitokondria yang merupakan bagian dari leher sering memasuki sitoplasma telur dan menyebar di dalam, tetapi belum diketahui kapan organel ini tidak berfungsi lagi. Pada sel telur tertentu, kadang-kadang tidak terjadi penyelesaian meiosis II, dan hanyamencapai metaphase. Setelah itu terjadi amphimixis di mana pronucleus jantan dan betina bersatu.

Pada waktu sperma memasuki sitoplasma sel telur, pronukleus bergerak dengan akrosom di sebelah depan. Kemudian terjadi perputaran sebesar  $180^{\circ}$  dan sentrosom menjadi di sebelah depan. Pada saat ini terjadi perubahan dimana pronukleus jantan membengkak dan benang-benang kromatin menjadi lebih tersebar dengan butir-butir granula yang kecil. Sentrosome pada saat yang sama membentuk aster di sekelilingnya dan siap untuk memasuki pembelahan. Bersamaan dengan proses ini terjadi migrasi menuju pronukleus betina. Migrasi ini dapat terjadi di tengah-tengah, tetapi dapat juga terjadi di dekat kutub anima, terutama pada jenis telur telolechital. Pada daerah yang dilalui pronukleus jantan seringkali tampak terbentuk pigment-pigment atau adanya pigment dari korteks atau sub korteks yang mengikuti pergerakan pronukleus jantan dan biasanya disebut dengan ***penetration path***. Pronukleus betina akan bersatu dengan vesikula-vesikula yang disebut *karyomere* dan membengkak pada perjalanan mendekati persatuan antara pronukleus-pronukleus jantan dan betina. Ada pronukleus yang benar-benar mengalami persatuan, tetapi ada juga yang hanya melarutkan membrannya sehingga kromosom-kromosom dari kedua belah pihak dapat bersatu.

Sentrosom dari spermatozoa akan membelah menjadi dua, akromatik spindel terbentuk, setelah itu terbentuk dinding inti dari duabuah sel anak yang baru (pada ascaris, beberapa moluska dan annelida).

### Latihan

1. Jelaskan fertilisasi pada jenis hewan berdasarkan tempat berlangsungnya!
2. Jelaskan fungsi fertilisasi!
3. Jelaskan tahapan fertilisasi menurut Gilbert (1985)!
4. Jelaskan mekanisme transpor ovum!
5. Jelaskan mengenai kapasitas spermatozoa!
6. Jelaskan penetrasi spermatozoa ke dalam telur!
7. Jelaskan bagaimana cara sel telur mencegah terjadinya polispermi!
8. Jelaskan aktivasi metabolisme telur!
9. Jelaskan yang dimaksud *penetration path*!

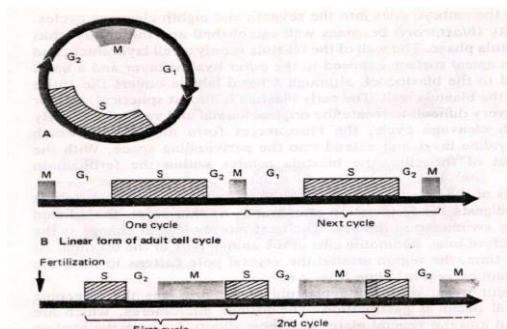
# BAB VI

## PEMBELAHAN (CLEAVAGE)

### A. Segmentasi

Fusi pronukleus jantan dan pronukleus betina pada saat fertilisasi menghasilkan inti diploid pada zigot. Selanjutnya zigot membelah menjadi 2,4,6,8 sel dan seterusnya. Pembelahan-pembelahan tersebut menyebabkan zigot yang pada mulanya uniseluler berubah menjadi multiseluler. Sel-sel hasil pembelahan zigot dinamakan blastomer, sedangkan serangkaian pembelahan yang berlangsung hingga embrio memiliki suatu rongga yang dikelilingi oleh blastomer disebut cleavage. Menurut Balinsky, pembelahan memiliki beberapa ciri yaitu

1. Zigot ditransformasi melalui serangkaian pembelahan mitosis dari keadaan uniseluler ke multiseluler.
2. Ukuran embrio relatif tidak bertambah.
3. Bentuk umum embrio tidak berubah kecuali terbentuknya rongga blastocoel.
4. Transformasi dari bagian substansi sitoplasma menjadi substansi inti. Perubahan-perubahan kualitatif komposisi telur terbatas.
5. Bagian-bagian utama sitoplasma telur tidak digantikan dan tetap pada posisi yang sama seperti telur pada awal pembelahan.
6. Rasio sitoplasma inti pada awal pembelahan sangat rendah, dan pada akhirnya hampir sama dengan rasio sel somatik.



Gambar 6.1 Perbandingan Siklus Sel pada Sel Dewasa dan Awal Pembelahan

Sumber: Carlson, 1988

Pembelahan zigot berbeda dengan pembelahan mitosis biasa yang berlangsung pada stadium lanjut perkembangan dan pada organisme dewasa. Pada stadium lanjut perkembangan, sebelum sel membelah mereka mengalami perubahan ukuran kira-kira sama dengan ukuran sel sebelum membelah. Jadi pada stadium lanjut perkembangan atau pada organisme dewasa ukuran sel rata-rata dipelihara pada setiap jaringan. Selama pembelahan zigot, urutan pembelahan blastomer tidak dipisahkan oleh pertumbuhan, dalam hal ini ukuran blastomer-blastomer tidak meningkat hingga pembelahan berikutnya dimulai. Akibatnya setiap pembelahan menghasilkan blastomer-blastomer dengan ukuran setengah dari blastomer asal. Jadi pembelahan zigot dimulai dari suatu sel yang ukurannya amat besar, dan berakhir dengan sejumlah sel dengan ukuran yang kecil. Dengan demikian berbeda dengan sel-sel yang telah berdiferensiasi pada organisme dewasa, sebab diferensiasi seluler biasanya diiringi dengan peningkatan ukuran sel (Balinsky, 1966). Pada bintang laut pembelahan berlangsung cepat dan sebelum satu siklus pembelahan selesai, pembelahan berikutnya sudah dimulai (Carlson, 1988).

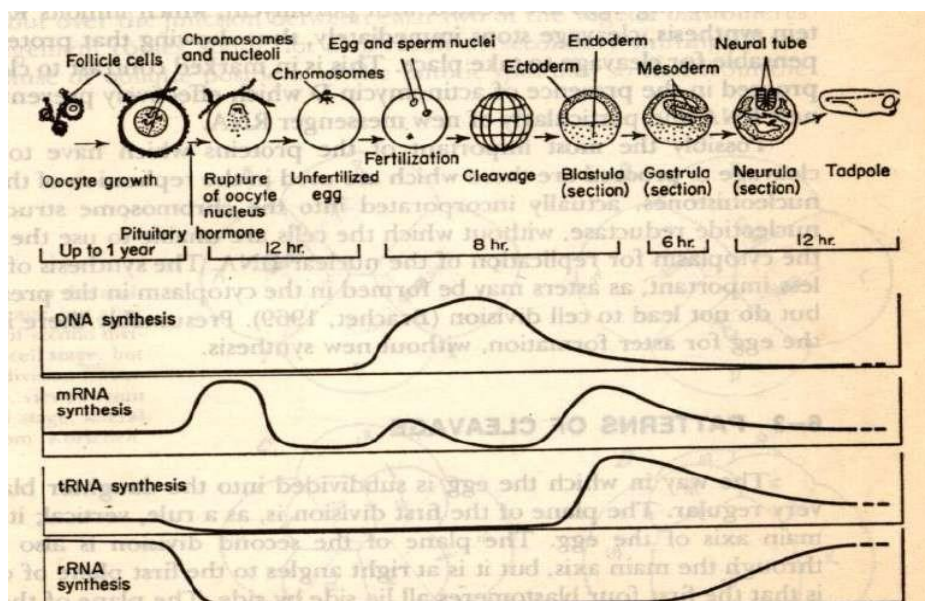
## **B. Perubahan-Perubahan Kimia Selama Pembelahan**

Perubahan-perubahan yang jelas terlihat selama pembelahan adalah adanya peningkatan yang cukup stabil bahan inti di dalam sitoplasma. Setiap adanya pembelahan baru, jumlah bahan inti selalu digandakan. Penggandaan ini selalu dihubungkan dengan adanya peningkatan substansi inti yang melibatkan peningkatan jumlah DNA setiap inti. Sejumlah besar DNA disintesis untuk melengkapi susunan kromosom pada masing-masing blastomer. Selama awal pembelahan, sintesis sejumlah DNA tidak diperlukan (Sudarwati dan Nio, 1990).

Protein-protein sangat diperlukan di dalam proses pembelahan. Sebagian besar protein ini telah disimpan di dalam oosit dan tidak perlu disintesis kembali, akan tetapi protein lainnya disintesis selama periode pembelahan. Protein-protein baru yang dihasilkan secara langsung terlibat di dalam proses perbanyakan terlibat di dalam proses perbanyakan sel. Protein tersebut adalah:

- 1) Protein histon inti yang diperlukan untuk replikasi dalam derajat yang sama seperti penambahan jumlah DNA.
- 2) Tubulin, merupakan protein penyusun mikrotubulus. Tubulin disintesis dari mRNA yang telah ada di dalam sel telur. Selama masa pembelahan, terdapat peningkatan sintesis tubulin.
- 3) Enzim ribonukleotida reduktase yang merupakan sumber bahan untuk replikasi DNA kromosom. mRNA untuk enzim ini terdapat pada telur yang belum difertilisasi, dan menjadi aktif setelah fertilisasi.
- 4) DNA polimerase terdapat dalam jumlah yang diperlukan didalam sel telur. Selama awal pembelahan, jumlah enzim ini tidak meningkat.

Protein yang paling penting untuk proses pembelahan kemungkinan adalah yang berhubungan dengan proses replikasi kromosom yaitu nukleohiston dan ribonukleotida reduktase yang dibutuhkan untuk replikasi DNA inti (Sudarwati dan Tjan Kiaw Nio, 1990). Pada gambar 6.2 ditunjukkan perubahan-perubahan sintesis berbagai asam nukleat selama oogenesis, fertilisasi, dan selama awal perkembangan embrio katak (Balinsky, 1966).



Gambar 6.2 Perubahan-Perubahan Sintesis Asam Nukleat pada Oogenesis, Fertilisasi, dan Selama Awal Perkembangan Embrio Katak

Sumber: Balinsky, 1966

### C. Distribusi Yolk dan Pengaruhnya Terhadap Pembelahan

Secara morfologis, cleavage atau pembelahan berbeda pada sejumlah kelompok-kelompok hewan. Beberapa faktor yang penting yang berpengaruh terhadap pembelahan adalah:

- (i) Faktor-faktor di dalam sitoplasma telur yang memengaruhi sudut spindel mitosis dan waktu pembelahannya.
- (ii) Distribusi protein yolk yang terdapat di dalam sitoplasma (Gilbert, 1985).

Berdasarkan kandungan yolk dan tipe pembelahannya, telur dapat dikelompokkan menjadi:

1. **isolecithal** atau **oligolecithal** adalah telur dengan kandungan yolk sedikit dan menyebar. Tipe pembelahannya adalah holoblastik, artinya blastomer-blastomer hasil pembelahan terpisah secara sempurna. Pola pembelahannya terdiri atas:
  - a. **radial**, blastula berbentuk bundar, rongga besar dan terdapat di tengah. Dijumpai pada echinodermata dan *amphioxus*.
  - b. **bilateral**, blastula berbentuk bundar, rongga besar dan terdapat di tengah. Dijumpai pada *ascidian*.
  - c. **Spiral**, blastula berbentuk bundar, rongga besar dan terdapat di tengah. Dijumpai pada *mollusca*.
  - d. **Rotasional**, blastula berbentuk bundar, rongga besar, dan terdapat di tengah. Dijumpai pada *mamalia*.
2. **Mesolecithal** adalah telur dengan kandungan yolk yang sedang, dan biasanya terkonsentrasi pada kutub vegetatif. Tipe pembelahannya adalah holoblastik, pola pembelahan adalah radial, blastula bulat, rongga blastula kecil dan lebih terkonsentrasi ke kutub anima. Dijumpai pada *amphibia*, dan *ikan paru-paru*.
3. **Telolechital** adalah telur yang memiliki kandungan yolk yang banyak. Tipe pembelahannya adalah meroblastik, yaitu blastomer-blastomer hasil pembelahan tidak terpisah secara sempurna. Blastula berbentuk cakram, rongga blastula terbentuk di antara epiblas dan hipoblas. Dijumpai pada ikan, *reptil* dan *burung*.

4. **Centrolechital** adalah telur dengan kandungan yolk terpusat pada bagian tengah telur. Tipe pembelahannya adalah meroblastik, pola pembelahannya adalah superfisial, blastula berbentuk bundar hingga silindris, rongga blastula tidak ada. Dijumpai pada *serangga* dan *arthropoda* lainnya.

Selama berlangsungnya pembelahan zigot, bidang-bidang yang ditempuh selama mitosis secara umum adalah bidang meridian, bidang vertikal, bidang ekuator dan bidang latitudinal.

#### **D. Pola-Pola Pembelahan**

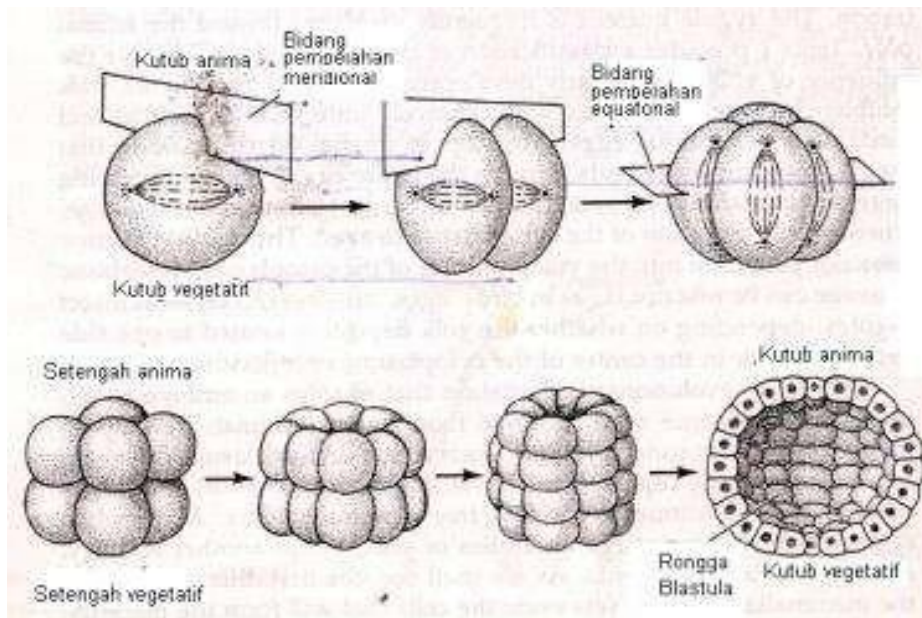
Berdasarkan simetri dan tipe pembelahannya, pembelahan pada zigot dapat dikelompokkan menjadi:

##### **1. Pembelahan Radial Holoblastik**

Pembelahan radial holoblastik adalah pembelahan di mana blastomer-blastomer yang terdapat pada bagian kutub anima telur terletak tepat di atas blastomer yang ada pada bagian vegetatif, sehingga pola blastomer adalah radial simetris (gambar 6.2), misalnya pembelahan pada echinodermata dan amphioxus.

##### **a. Pembelahan pada Echinodermata**

Pada *Synapta digitata*, setelah fusi pronukleus jantan dan betina, sumbu spindel mitosis yang pertama dibentuk terletak tegak lurus kutub anima vegetatif. Pembelahan pertama melalui kutub animal vegetatif, menghasilkan dua anak sel yang mempunyai ukuran yang sama, pembelahan ini disebut pembelahan meridional, sebab melalui dua kutub menyerupai meridian pada suatu globe. Spindel mitosis pada pembelahan kedua tegak lurus pembelahan pertama menghasilkan empat blastomer yang terletak berdampingan. Pembelahan ketiga adalah ekuatorial, dimana spindel mitosis pada setiap blastomer paralel dengan sumbu anima-vegetatif menghasilkan 8 blastomer. Setiap blastomer pada setengah anima embrio terletak di atas blastomer yang ada pada bagian vegetatif. Pembelahan keempat kembali meridional menghasilkan 16 blastomer, dan selanjutnya menghasilkan 64, 128 dan 256 blastomer dan pada akhirnya membentuk blastula



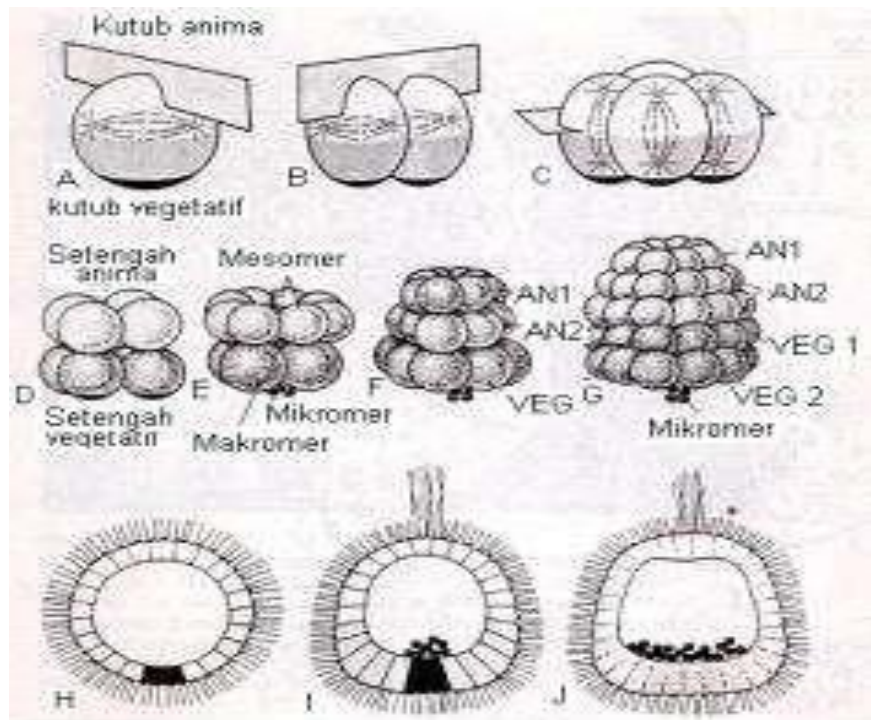
Gambar 6.3 Pembelahan Radial Holoblastik pada *Synapta Digitata* dan  
Pembentukan Blastula  
Sumber: Carlson, 1988

Blastula pada *Synapta digitata* berbentuk bulat, pada bagian tengah embrio terdapat suatu rongga yang disebut rongga blastula atau *blastocoel*. Dinding blastula hanya terdiri atas selaput sel-sel blastomer.

Pada *Asterias* atau bintang laut, pembelahan telur sama dengan pembelahan pada *Synapta digitata*, akan tetapi pada *asterias*, pembelahan keempat, 4 sel pada kutub anima membelah meridional menghasilkan 8 sel-sel blastomer. Setiap blastomer mempunyai ukuran yang sama. Blastomer-blastomer tersebut disebut *mesomer*. Sel-sel pada bagian vegetatif membelah secara ekuatorial menghasilkan 4 blastomer yang besar yang disebut *makromer*, dan 4 sel-sel blastomer yang kecil yang disebut *mikromer* pada kutub vegetatif. Pada pembelahan kelima, sel-sel *mesomer* membelah secara ekuatorial menghasilkan 16 sel. *Makromer* membelah secara meridional menghasilkan sel di bawah an2. *Mikromer* juga membelah menghasilkan kelompok sel-sel kecil pada kutub vegetatif. Pembelahan keenam berlangsung secara ekuatorial dan pembelahan ketujuh



berlangsung secara meridional menghasilkan 128 sel.

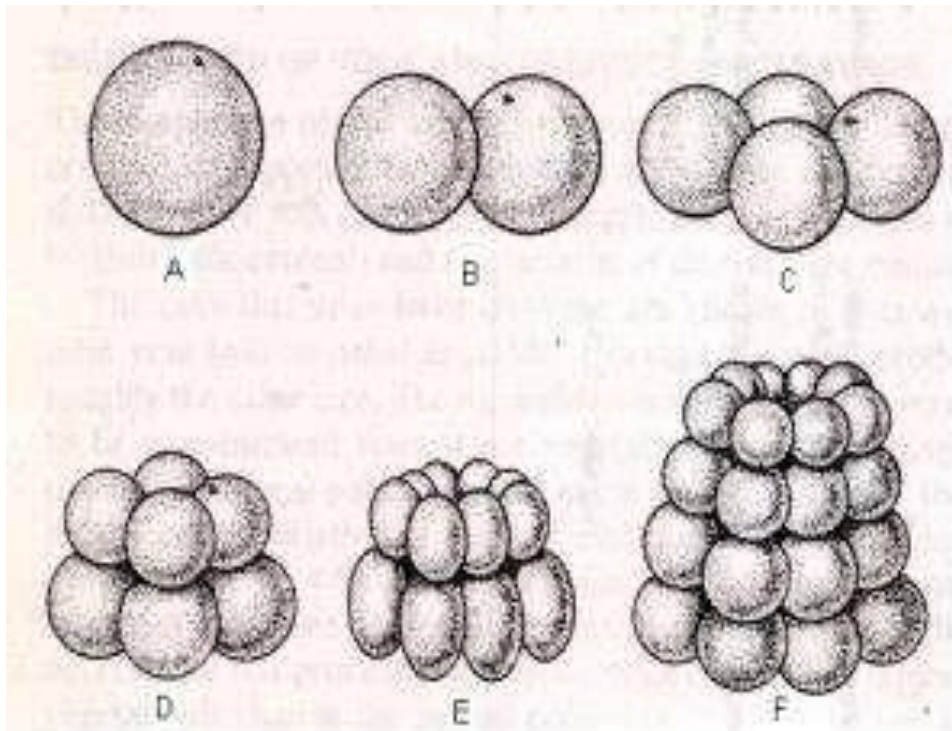


Gambar 6.4 Pembelahan pada Asterias

Sumber: Carlson, 1988

## b. Pembelahan pada Amphioxus

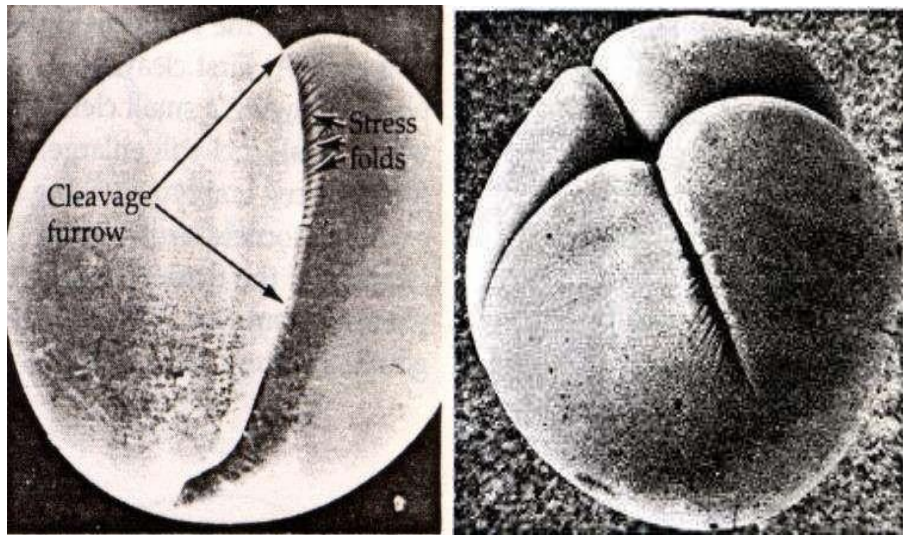
Seperti halnya pada *Synapta digitata*, pembelahan pada *amphioxus* adalah pembelahan yang sangat teratur berupa pembelahan radial holoblastik equal. Pembelahan pertama melalui kutub anima-vegetatif menghasilkan dua blastomer. Pembelahan kedua tegak lurus pembelahan pertama menghasilkan 4 blastomer. Pembelahan ketiga adalah pembelahan ekuatorial, membagi embrio di antara kutub anima-vegetatif menghasilkan 8 blastomer. Pembelahan keempat adalah pembelahan secara meridional simultan menghasilkan 16 blastomer. Pembelahan berikutnya menghasilkan 32blastomer dan embrio berada pada stadium *morula*. Pembelahan selanjutnya menyebabkan terbentuknya rongga yang disebut rongga blastula atau *blastocoel*, dan embrio sekarang berada pada stadium blastula (gambar 6.5).



Gambar 6.5 Pembelahan Radial Holoblastik pada *Amphioxus*. (a) Zigot, (b) Pembelahan Pertama (c) Pembelahan Kedua (D) Pembelahan Ketiga (E) Pembelahan Keempat (F) Pembelahan Kelima  
Sumber: Carlson, 1988

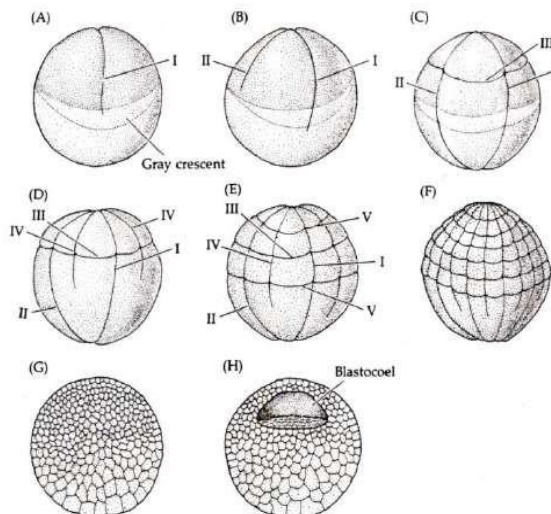
### c. Pembelahan pada Amphibia

Pembelahan pada embrio katak dan salamander merupakan pembelahan radial holoblastik. Telur katak mengandung jumlah yolk yang relatif banyak dan terkonsentrasi pada kutub vegetatif. Pembelahan pertama dimulai pada kutub anima dan secara perlahan bergerak menuju daerah vegetatif dan membagi dua sabit kelabu (*gray crescent*). Pembelahan kedua juga dimulai pada kutub anima, tegak lurus pembelahan pertama (gambar 6.6).



Gambar 6.6 *Scanning Electron Micrograph* Pembelahan Pertama dan Kedua pada Embrio Katak  
Sumber: Gilbert, 1985

Bidang pembelahan ketiga adalah horizontal, melintas dekat kutub anima, dan membelah blastomer menjadi empat blastomer kecil ke arah hemisphere anima, dan 4 blastomer besar pada kutub vegetatif. Pembelahan keempat adalah meridional simultan, dan pembelahan kelima adalah ekuatorial atau horizontal (gambar 6.7).

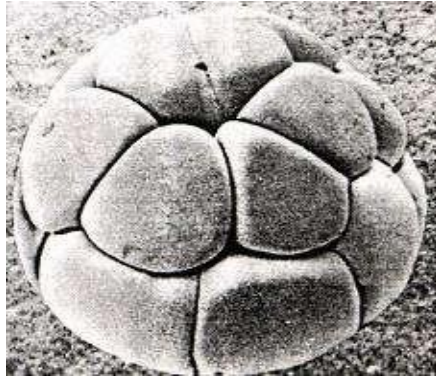


Gambar 6.7 Pembelahan yang Berlangsung pada Embrio Katak. Pembelahan Kedua Dimulai Sebelum Pembelahan Pertama Selesai. Pembelahan Ketiga Adalah Horizontal atau Ekuatorial Lebih ke Arah Kutub Anima.

Sumber: Gilbert, 1985

Pada amphibia embrio yang mengandung sel-sel blastomer antara 16-64 biasa disebut morula (gambar 6.8). Pada stadium 128 sel,

blastocoel mulai tampak, dan embrio sekarang disebut blastula.



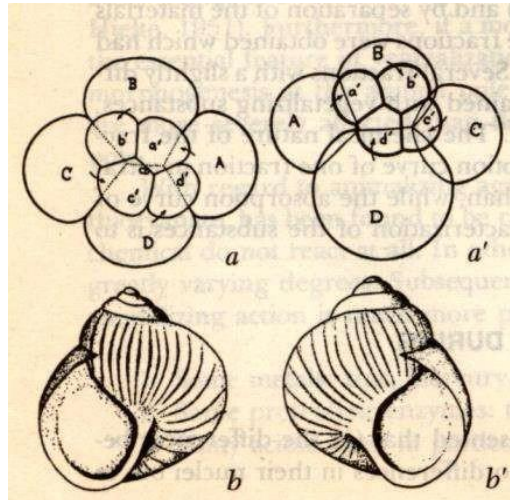
Gambar 6.8 *Scanning Electron Micrograph* Embrio Katak Stadium 16 Sel  
Sumber: Gilbert, 1985

## 2. Pembelahan Spiral Holoblastik

Pembelahan spiral holoblastik dijumpai pada annelida, turbellaria, dan semua jenis mollusca kecuali cephalopoda. Pada pembelahan spiral, orientasi spindel mitosis bukan paralel atau tegak lurus dengan sumbu anima-vegetatif telur, tetapi orientasinya adalah miring sehingga blastomer-blastomer yang dihasilkan tidak terletak tepat di atas atau di bawah blastomer-blastomer yang lain. Akibat bergesernya posisi dari spindel mitosis, menyebabkan sel-sel blastomer bagian atas berada di atas pertemuan dua blastomer yang berada di bawahnya.

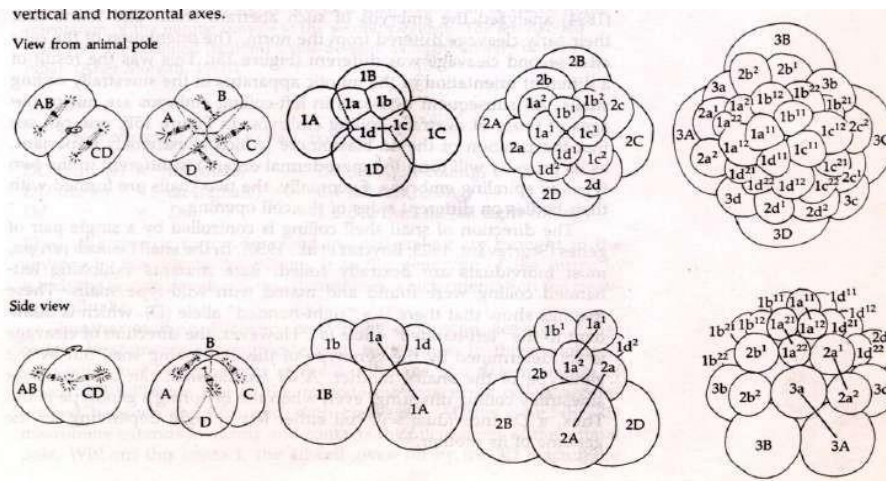
Pada pembelahan spiral dikenal dua tipe yaitu pembelahan dekstral dan pembelahan sinistral. Pembelahan disebut dekstral apabila arah putaran spiran searah dengan jarum jam, dan disebut sinistral apabila arah putaran spiran berlawanan dengan arah jarum jam (Gambar 6.9).





Gambar 6.9 Pola Pembelahan Spiral (A) Sinistral, dan (B) Dekstral  
Sumber: Balinsky, 1969

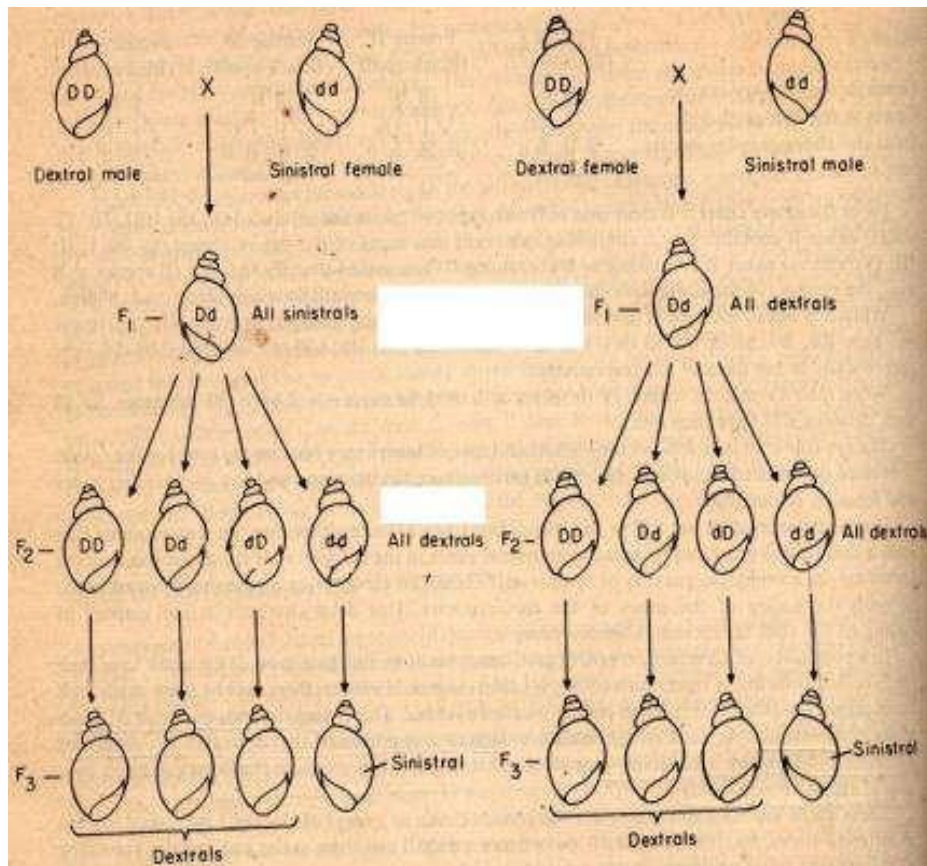
Pada mollusca jenis *Trochus* dua pembelahan pertama adalah meridional menghasilkan 4 blastomer yang besar yang diberi notasi A, B, C, dan D. Pada setiap pembelahan berikutnya, setiap makromer membentuk sel-sel yang kecil yang disebut mikromer pada kutub anima. Tiap kuartet mikromer yang dibentuk dipindahkan secara bergiliran ke kanan atau ke kiri makromer sister, karena ujung atas spindel mitosis pada setiap pembelahan bergeser secara bergiliran searah dan berlawanan dengan jarum jam bila dilihat dari kutub anima. Pada pembelahan ketiga, makromer A menghasilkan dua sel anal yaitu makromer 1A dan 1a. sel-sel B, C, dan D mempunyai perilaku yang sama dengan sel A, menghasilkan kuartet mikromer pertama. Pada beberapa spesies, mikromer-mikromer bergerak ke kanan makromer. Susunan yang demikian disebut spiral dekstra. Bila mikromer-mikromer bergerak kekiri makromer, maka susunan yang terbentuk adalah spiralsinister. Pada pembelahan keempat makromer 1A membelah membentuk makromer 2A dan mikromer 2a, dan mikromer 1a membelah membentuk mikromer 1a1 dan 1a2. Pada pembelahan selanjutnya, blastomer-blastomer 3A dan 3a berasal dari makromer 2A, dan mikromer-mikromer seperti 1a2 membelah untuk menghasilkan sel-sel 1a21 dan 1a22 (gambar 6.10).



Gambar 6.10 Pembelahan Spiral Holoblastik Dilihat dari Atas dan dari Samping  
Sumber: Gilbert, 1985

Orientasi bidang pembelahan ke kiri atau ke kanan dikontrol oleh faktor-faktor sitoplasma di dalam telur. Pada *Limnea paragra* umumnya memiliki cangkang yang memutar ke kanan. Rupanya hal tersebut dikontrol oleh sepasang gen non kromosomal di dalam sitoplasma telur. Gen yang mengontrol arah putaran kanan adalah gen **D**, sedangkan alelnya adalah gen **d** yang mengontrol arah putaran kiri. Namun arah perputaran cangkang tidak ditentukan oleh genotipe induk. Bila *Limnea paragra* betina dengan genotipe **dd** sinistral kawin dengan jantan dengan

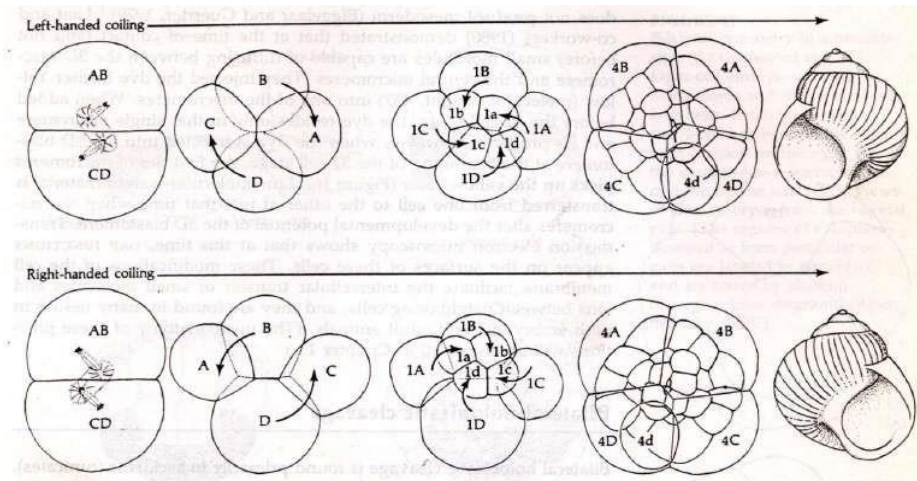
Genotip **DD** maka semua keturunannya memiliki genotipe **Dd** dan bersifat sinistral. Bila *Limnea paragra* dengan genotipe **Dd** kawin dengan sesamanya, maka semua keturunannya memiliki cangkang yang bersifat dekstral atau memutar ke kanan. Dalam hal ini individu dengan cangkang yang memutar ke kiri atau sinistral hanya dapat dihasilkan dari induk sinistral dengan genotipe **dd**.



Gambar 6.11 Pewarisan Maternal pada *Limnaea peregra*  
Sumber: Majumdar, 1985

Perbedaan arah putar cangkang pada *Limnaea paragra* berlangsung sejak awal pembelahan zigot. Pada pembelahan kedua, orientasi pembelahan sel-sel mulai berbeda sebagai akibat adanya perbedaan orientasi spindel mitosis.

Pada pembelahan berikutnya, embrio yang memutar ke kiri merupakan pencerminan dari embrio yang memutar ke kanan. Hal ini dapat dilihat pada posisi blastomer 4 yang berbeda pada kedua jenis embrio (gambar 6.12).



Gambar 6.12 Orientasi Spindel Mitosis pada Pembelahan Kedua dari *Limnea Paragra*  
Sumber: Gilbert, 1985

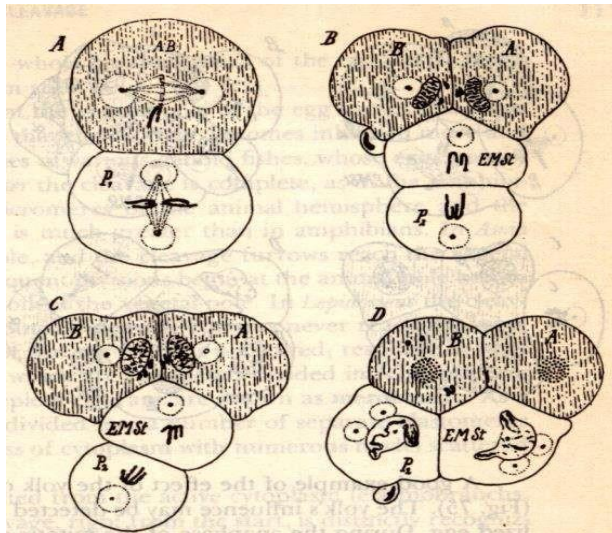
### 3. Pembelahan Bilateral Holoblastik

Pembelahan bilateral holoblastik dijumpai terutama pada ascidian (tunicata) dan nematoda. Pada tipe pembelahan ini, dua dari empat blastomer yang dihasilkan dari dua kali pembelahan berukuran lebih besar dari dua sel lainnya, sehingga membentuk sebuah bidang bilateral simetris. Pada pembelahan pertama, menghasilkan dua sel yang tidak sama besar. Sel yang besar diberi notasi sel AB, sedangkan sel-sel yang lebih kecil diberi notasi Pi. Kedua sel kemudian membelah secara simultan pada bidang yang saling tegak lurus, menghasilkan empat blastomer dalam bentuk seperti huruf T (gambar 6.13). Susunan blastomer yang berbentuk huruf T berubah menjadi suatu bentuk rhomboid. Pembelahan ketiga menyebabkan susunan blastomer semakin bilateral simetris. Blastomer semakin bilateral simetris. Dua blastomer yang berukuran besar membelah membentuk dua blastomer lainnya di sisi kiri dan kanan sel blastomer tersebut, sedangkan dua blastomer lainnya membentuk suatu kelompok empat sel yang letaknya saling membelakangi.

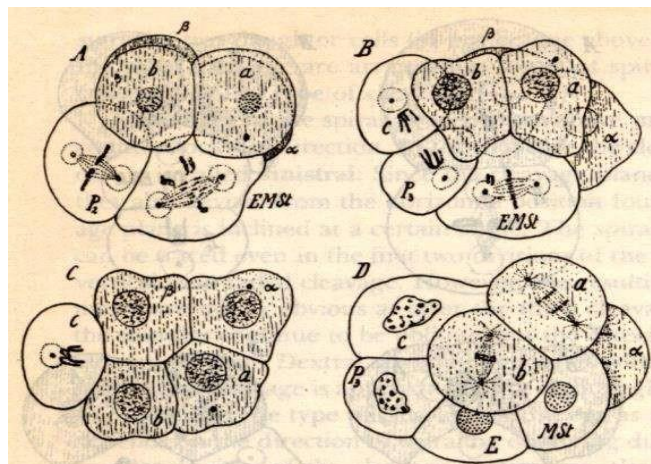
Pada ascaris (nematoda), blastomer-blastomer menunjukkan bagian-bagian yang khusus dari embrio. Bagian A, B, dan C membentuk kulit hewan, blastomer D membentuk endoderm dan saluran pencernaan, blastomer Mst membentuk mesoderm dan



stomodeum, dan blastomer P3 pada akhirnya menghasilkan sel-sel reproduksi (Balinsky, 1966).



Gambar 6.13 Diagram Pembelahan Sel pada Nematode Stadium 4 Sel  
Sumber: Balinsky, 1966

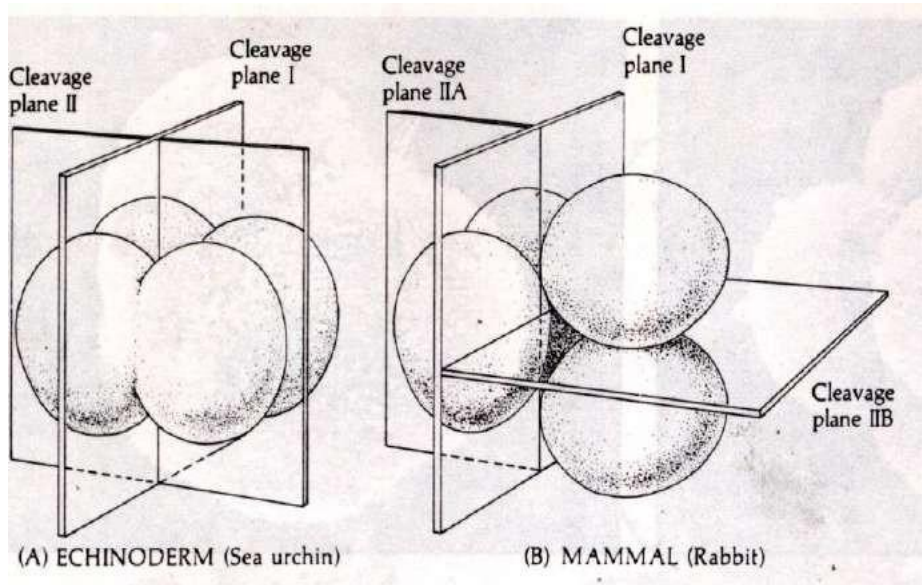


Gambar 6.14 Diagram Pembelahan Sel pada Nematode Stadium 8 Sel  
Sumber: Balinsky, 1966

#### 4. Pembelahan Rotasional Holoblastik

Pembelahan rotasional holoblastik dijumpai pada mamalia, misalnya mencit dan manusia. Beberapa ciri-ciri pembelahan pada mamalia adalah: (i) pembelahannya relatif lambat, (ii) orientasi blastomer-blastomernya adalah khas. Pembelahan pertama adalah pembelahan secara ekuatorial. Pembelahan pada embrio mamalia

berbeda dengan pembelahan pada embrio lain, di mana pada pembelahan awal embrio mamalia tidak sinkron. Blastomer-blastomer pada embrio mamalia tidak semua membelah pada waktu yang sama. Jadi blastomer pada embrio mamalia tidak bertambah dari stadium 2 sel ke 4 sel, dan 4 sel menjadi 8 sel.

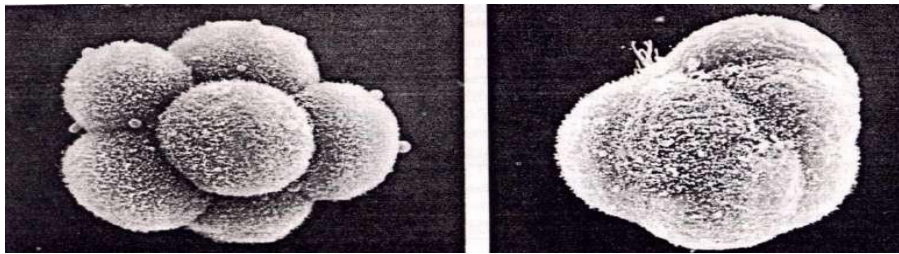


Gambar 6.15. Perbandingan Pembelahan pada Awal Embrio (A) Echinodermata, (B) Mamalia

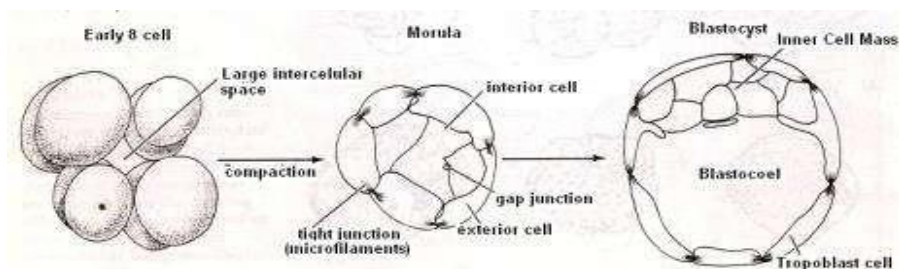
Sumber: Carlson, 1988

Pada mamalia, umumnya spindle mitosis dari salah satu blastomer mengalami rotasi 90° selama pembelahan kedua. Hal ini menghasilkan susunan blastomer yang bersilang pada stadium 4 sel. Pada stadium 8 sel susunan blastomer menjadi longgar dan memiliki banyak ruang antar sel. Pada pembelahan ketiga, sel-sel blastomer mengalami perubahan perilaku dan mereka berkumpul secara tiba-tiba, sehingga blastomer-blastomer berhubungan satu dengan yang lain membentuk bangun berbentuk bola yang kompak (Gilbert, 1985) (gambar 6.16). Susunan tersebut dikemas sangat rapat oleh *tight junction* pada bagian luar dan *gap junction* pada bagian dalam. *Tight junction* berperan untuk mencegah pertukaran bebas antara cairan yang terdapat di dalam dengan di luar embrio. *Gap junction* merangkai semua blastomer dari embrio yang telah kompak dan melewatkan pertukaran ion-ion serta molekul-molekul sederhana dari satu sel ke

sel berikutnya (gambar 6.16)



Gambar 6.16 *Scanning Elektron Micrograf* pada Embrio Mencit Stadium 8 Sel (A) dan Embrio Setelah Menjadi Kompak  
Sumber: Gilbert, 1985



Gambar 6.17 Skema Perubahan Bentuk Sel dan Pengompakan pada Awal Perkembangan Mencit  
Sumber: Gilbert, 1985

Pada stadium 16 sel, embrio mencapai stadium morula. Pada morula, blastomer blastomer mensekresikan cairan internal untuk pembentukan rongga blastocoel. Transisi dari stadium morula ke blastula ditandai dengan terjadinya dua perubahan yaitu:

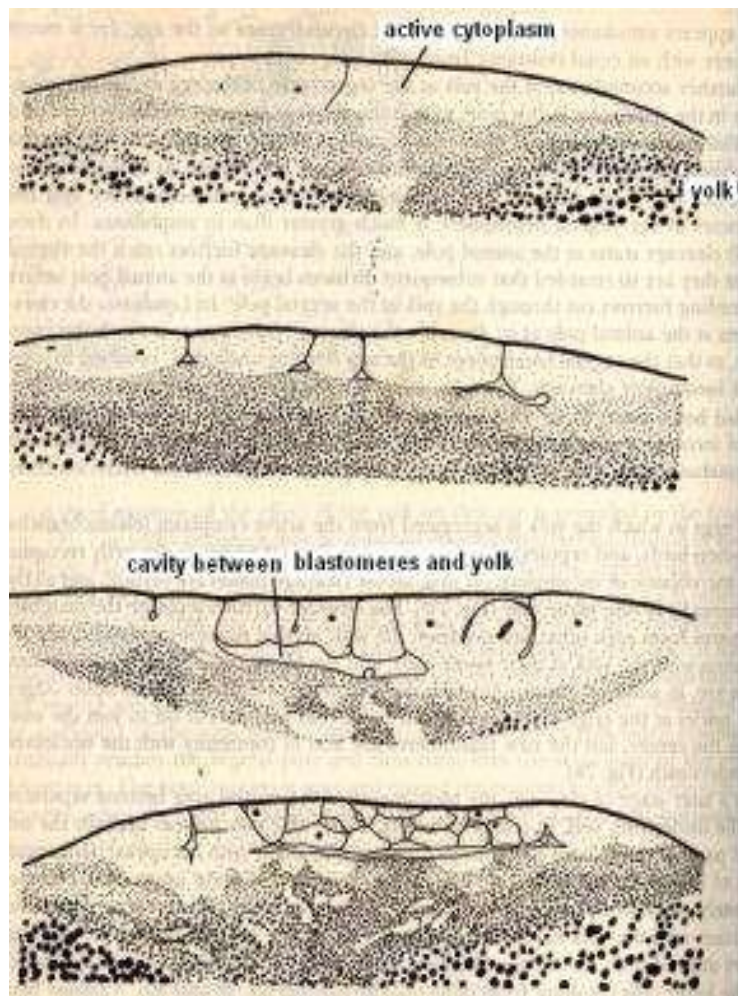
- Rongga blastula dengan cepat mengalami pembesaran.
- Terbentuknya tipe-tipe sel yang berbeda di dalam embrio.

## 5. Pembelahan Diskoidal Meroblastik

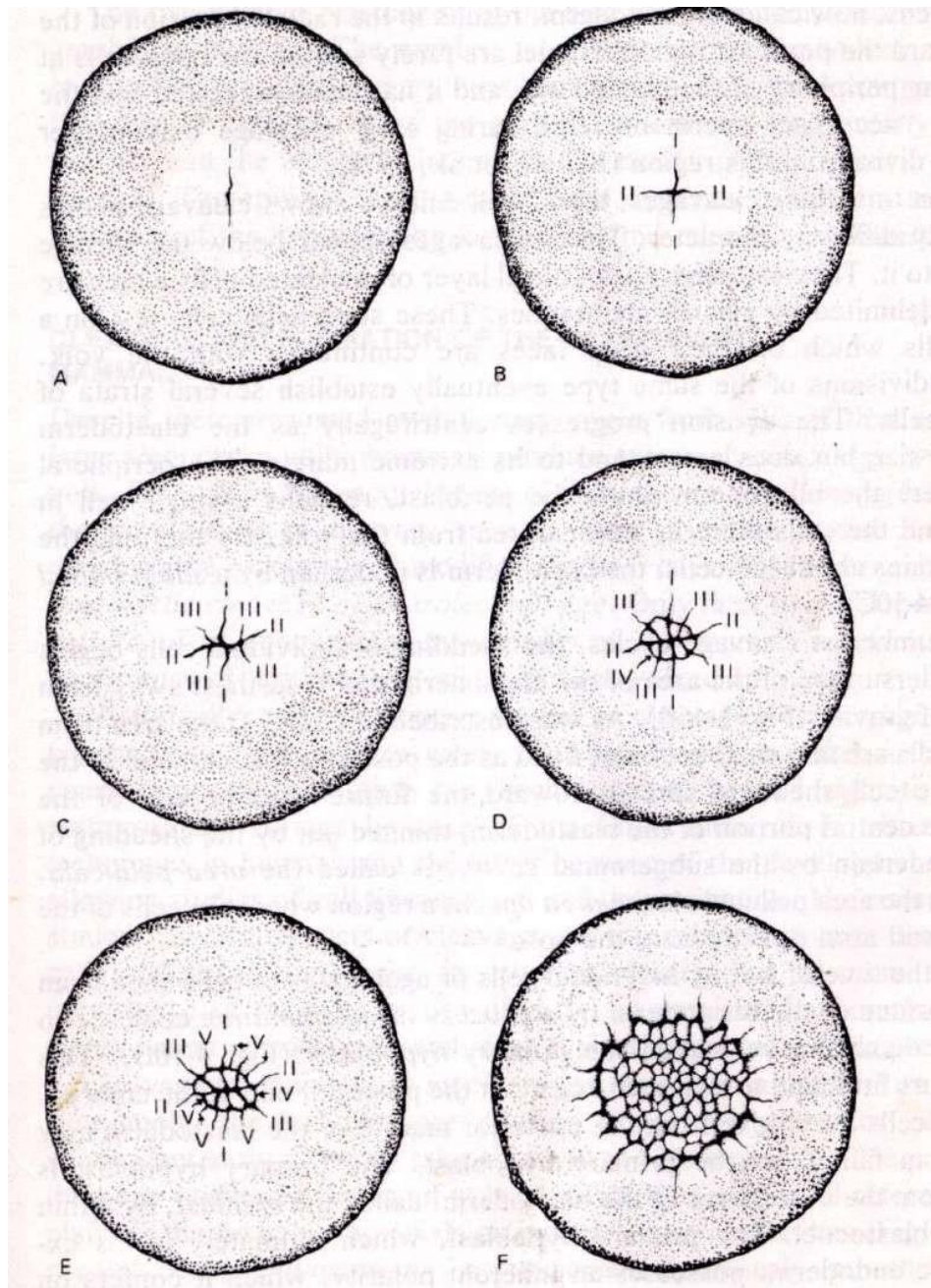
Pembelahan diskoidal meroblastik dapat dijumpai pada ikan, reptil dan burung. Pembelahan hanya berlangsung pada blastodisk yang terdapat pada kutub anima telur, sedangkan yolk tidak turut membelah (Gilbert, 1985). Pada burung, pembelahan berlangsung di dalam saluran reproduksi. Pada pembelahan pertama, blastodisk membentuk dua blastomer yang tidak terpisah secara sempurna. Pembelahan kedua tegak lurus pembelahan pertama, dan menghasilkan 4 blastomer yang juga tidak terpisah secara sempurna. Pembelahan ketiga, dua bidang pembelahan simultan sejajar dengan pembelahan pertama menghasilkan 8 blastomer. Pembelahan keempat



merupakan bidang pembelahan yang melingkar dan memotong semua bidang pembelahan terdahulu. Pembelahan kelima adalah pembelahan radial, memotong bidang pembelahan keempat dan menghasilkan blastomer-blastomer tepi yang juga tidak terpisah secara sempurna. Sedangkan pembelahan selanjutnya sukar diikuti.



Gambar 6.18 Pembelahan Meroblastik Ayam Dilihat dari Samping  
Sumber: Balinky, 1966

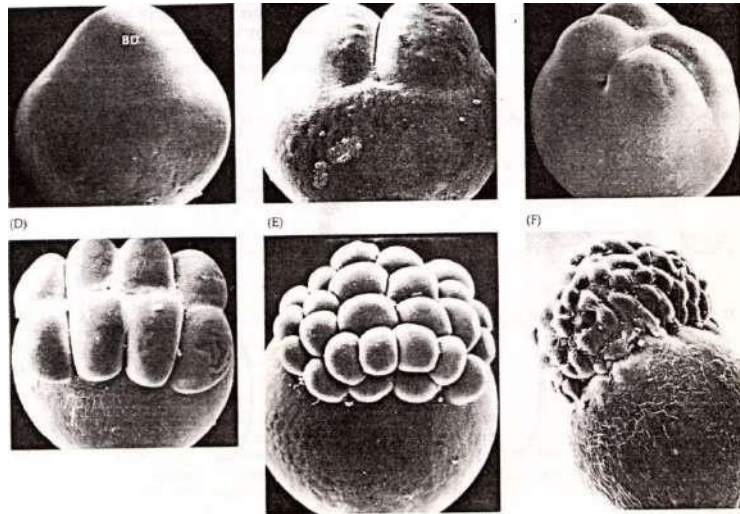


Gambar 6.19. Pembelahan Diskoidal Meroblastik pada Burung  
Sumber: Carlson, 1988

Bila dianalisis secara seksama, maka tampak bahwa sesungguhnya semua arah pembelahan pada aves berlangsung vertikal atau meridional. Alur pembelahan memisahkan blastomer yang satu dengan blastomer yang lain, tetapi tidak memisahkan dari yolk,

sehingga pusat blastomer berdekatan dengan yolk pada bagian bawahnya. Pada tahapan berikutnya, blastomer-blastomer pada bagian pusat terpisah dari yolk yang ada di bawahnya. Sel-sel anak dari bagian atas terpisah dari sel-sel di sekitarnya, sedangkan blastomer di bagian bawah tetap berhubungan dengan massa yolk. Sel-sel bagian tepi tetap berhubungan dengan yolk. Pada akhirnya semua blastomer akan hilang, bahkan alur yang memisahkan sel satu dengan sel lainnya bergabung ke dalam sinsitium yang saling berhubungan dan memiliki inti yang banyak, namun tidak menunjukkan suatu sel-sel individual (Sudarwati dan Tjan Kiaw Nio, 1990).

Sambil melangsungkan pembelahan, embrio awal akan mendapatkan selaput-selaput telur dari kelenjar-kelenjar yang terdapat di sepanjang saluran telur. Setibanya di dalam uterus, telur mendapatkan selaput cangkang dari zat kapur. Ketika tiba di dalam kloaka beberapa jam setelah fertilisasi, embrio berada dalam stadium blastula dan tinggal menunggu dioviposisikan atau ditelurkan. Biasanya bila tiba dikloaka pada siang harinya, maka telur segera akan dioviposisikan, sehingga embrio dalam telur yang keluar berada dalam stadium blastula. Bila telur tiba dikloaka pada malam hari, maka oviposisi dilakukan pada keesokan harinya, dan embrio di dalam telur sudah berada dalam stadium gastrula. Segera setelah telur dioviposisikan, maka perkembangan embrio terhenti. Perkembangan embrio akan berlanjut bila telur dierami atau diinkubasi pada suhu  $38^{\circ}\text{C}$ –  $40^{\circ}\text{C}$ . Pembelahan diskoidal meroblastik juga dapat dijumpai pada ikan zebra. Model pembelahannya sama dengan embrio aves. Pembelahan sel hanya berlangsung pada blastodisk di bagian kutub anima telur, dan sel-sel yolk tidak ikut mengalami pembelahan.

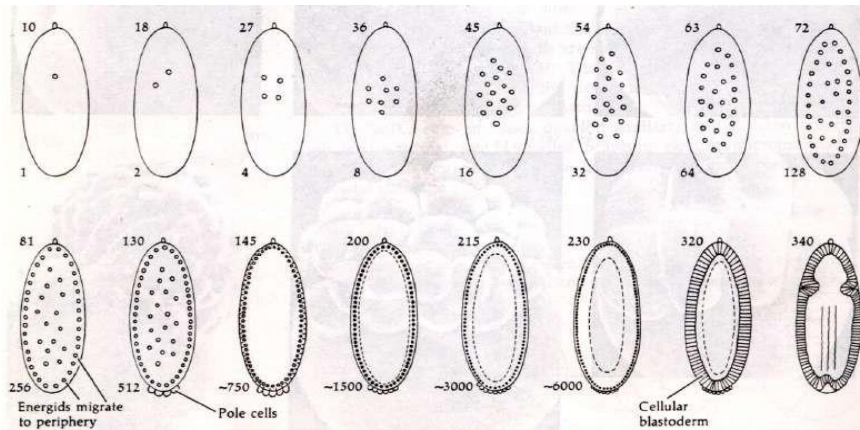


Gambar 6.20 Pembelahan Diskoidal Meroblastik pada Ikan Zebra  
Sumber: Gilbert, 1985

## 6. Pembelahan Superfisial Meroblastik

Pembelahan superficial meroblastik dapat dijumpai pada serangga dan arthropoda lainnya. Inti zigot pada bagian tengah telur membelah secara mitosis beberapa kali tanpa diikuti dengan pembelahan sitoplasma. Pada *Drosophila sp* dihasilkan inti sebanyak 256. Inti-inti tersebut dinamakan energid. Energid-energid selanjutnya bermigrasi ke bagian tepi telur. Masing-masing inti dikelilingi oleh sebagian kecil sitoplasma asal. Embrio pada saat ini disebut stadium Syntial blastoderm. Massa sitoplasma pada bagian tengah telur menjadi hancur dan hilang. Inti yang bermigrasi ke bagian posterior telur kembali ditutupi oleh membran sel yang baru untuk membentuk pole cell pada embrio. Sel-sel tersebut kelak akan menjadi sel kelamin pada saat dewasa. Setelah pole cell terbentuk, membran oosit melipat ke dalam di antara inti, sehingga pada akhirnya setiap inti menjadi satu sel tunggal dan menghasilkan blastoderm seluler (Gilbert, 1985).





Gambar 6.21 Pembelahan Superficial pada *Drosophila Sp.* Angka pada Bagian Atas Embrio Menunjukkan Waktu (Menit) Setelah Telur Dioviposisikan. Angka pada Bagian Bawah Embrio Menunjukkan Jumlah Inti (Energid) yang Terbentuk  
Sumber: Zolakar dan Erk, 1966 dalam Gilbert, 1985

## Latihan

1. Jelaskan 5 ciri-ciri pembelahan!
2. Jelaskan minimal 3 perubahan-perubahan kimia selama berlangsungnya pembelahan!
3. Buatlah komentar dengan mengacu pada gambar di halaman 143!
4. Buatlah klasifikasi pembelahan zigot berdasarkan simetri dan tipe pembelahannya!
5. Buatlah perbandingan antara pembelahan zigot pada bintang laut dan katak!
6. Jelaskan proses pewarisan maternal pada *limnea peragra*!
7. Jelaskan proses pembelahan pada ayam!
8. Jelaskan proses pembelahan pada mamalia!



# BAB VII

## BLASTULASI

---

### A. Bentuk Blastula

Blastulasi merupakan salah satu stadium yang mempersiapkan embrio untuk menyusun kembali sejumlah sel pada tahap perkembangan selanjutnya. Distribusi yolk pada setiap jenis telur pada suatu spesies berpengaruh terhadap bentuk-bentuk blastula. Umumnya blastula memiliki sebuah rongga yang disebut rongga blastula (*blastocoel*). Dikenal beberapa macam blastula, yaitu:

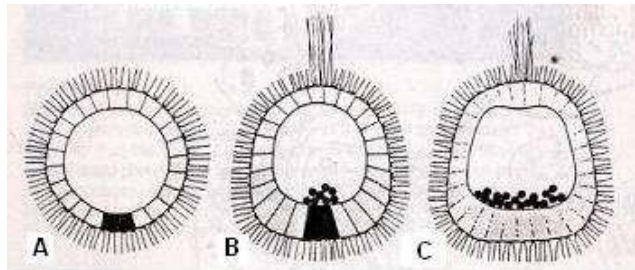
1. Coeloblastula. Yaitu blastula berbentuk bulat, dihasilkan oleh telur-telur isolesital dan oligolesital. Misalnya blastula pada *Synapta sp*, *Asterias sp*, *Amphioxus*, dan *Amphibia*. Rongga blastula terdapat di tengah atau eksentrik ke arah kutub anima.
2. Diskoblastula, yaitu blastula berbentuk cakram atau tudung. Blastodisk tampak berkembang menyerupai cakram di atas massa.
3. yolk. Dihasilkan oleh telur telolesital. Misalnya blastula pada ayam, dan ikan zebra. Rongga blastula terbentuk pada bagian bawah cakram atau tudung di antara blastodisk dan yolk.
4. Blastokista, yaitu blastula yang menyerupai kista. Blastula ini memiliki massa sel-sel dalam (*inner cell mass*) pada bagian dalam embrio dan dikelilingi oleh tropoblas. Dihasilkan oleh telur isolesital. Misalnya blastula pada mamalia.
5. Stereoblastula, yaitu blastula massif tanpa rongga blastula. Dihasilkan oleh telur sentrolesital. Misalnya blastula pada berbagai jenis serangga.

### B. Blastula pada Berbagai Jenis Hewan

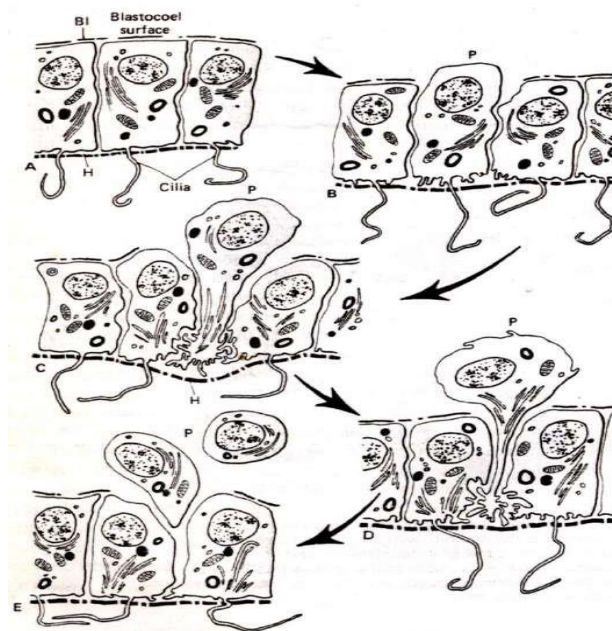
#### 1. Blastula Bintang Laut

Blastula pada bintang laut terbentuk pada stadium 32 sel (relatif). Pada blastula awal, blastula tampak memiliki silia. Dinding

blastula hanya terdiri atas satu lapisan sel. Sel-sel pada bagian apeks di kutub anima memiliki ukuran yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan sel-sel pada kutub vegetatif. Pada bagian kutub vegetatif terdapat sel-sel mikromer yang kelak akan berkembang menjadi mesenkim primer. Rongga blastula besar dan terdapat pada bagian tengah embrio. Pada stadium blastula lanjut terjadi beberapa perubahan, antara lain lepasnya sel-sel mikromer ke dalam blastocoel.



Gambar 7.1 Stadium Blastula pada *Asterias sp*  
Sumber: Carlson, 1988



Gambar 7.2 Ingresi Mesenkim Primer pada *Asterias*. (A) Dinding Blastula Sebelum Ingresi Dimulai, (B) Sel-sel Mesenkim Primer (P) Mulai Memanjang ke dalam Blastocoel Menembus Lamina Basalis yang Tidak Sempurna (BL), (C) Permukaan Apeks Sel Lepas dari Lapisan Hialin (H), (D) Sel-sel Mesenkim Primer Memisah dari Dinding Blastocoel, (E) Sel-sel Mesenkim yang Telah Terpisah

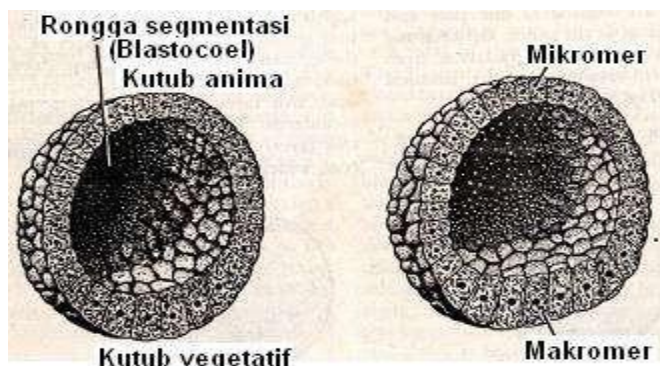
Sumber: Carlson, 1985

Mekanisme masuknya sel-sel mikromer ke dalam blastocoel adalah sebagai berikut:

- o Bagian apeks sel-sel mikromer memanjang dan lepas dari lapisan hialin, dan bagian lateral terpisah dari sel-sel vegetatif di sekitarnya.
- o Sel-sel melintasi lamina basalis masuk ke dalam blastocoel. Di dalam blastocoel, sel-sel tersebut mengalami reorganisasi membentuk sel-sel mesenkim primer.

## 2. Blastula pada *Amphioxus*

Sejak stadium pertumbuhan 8 sel, suatu rongga terbentuk di antara makromer dan mikromer dan rongga tersebut semakin jelas kelihatan pada stadium 64 sel. Rongga tersebut dinamakan rongga blastocoel. Dengan bertambahnya pertumbuhan, rongga tersebut semakin besar. Struktur yang demikian ini dinamakan blastula, terbentuk 4-6 jam setelah fertilisasi. Pertumbuhan akhir blastula berlangsung setelah embrio mencapai lebih dari 200 sel.



Gambar 7.3. Blastula pada *Amphioxus*  
Sumber: Huettner, 1957

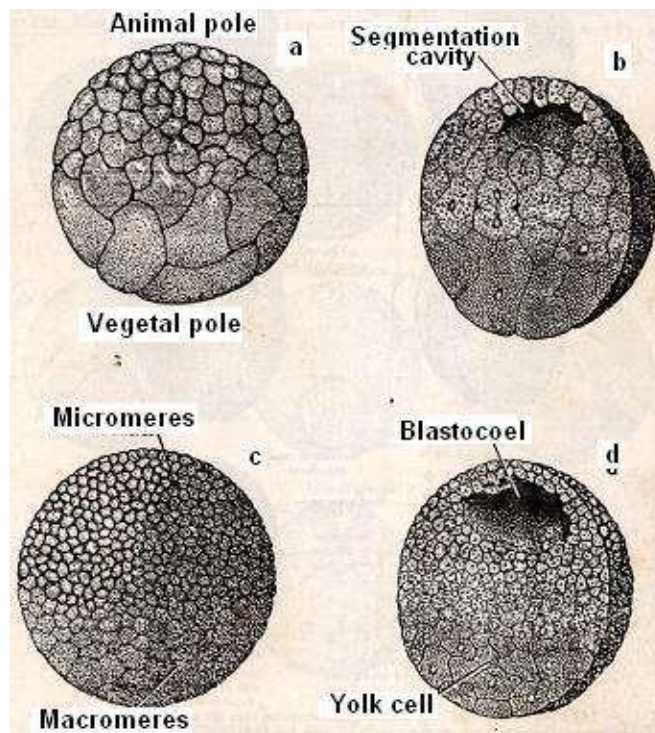
## 3. Blastula pada *Amphibia*

Pada amphibia (*Xenopus sp*), stadium blastula tercapai pada stadium 128 sel. Pada stadium ini mulai terbentuk suatu rongga yang disebut rongga blastula (blastocoel). Blastula pada amphibia memiliki tiga daerah yang berbeda, yaitu:

- o Daerah di sekitar kutub anima, meliputi sel-sel yang membentuk atap blastocoel. Sel-sel tersebut merupakan bakal lapisan ektoderm. Sel-sel ini berukuran kecil dan disebut mikromer, mengandung banyak butir-butir pigmen.

- Daerah di sekitar kutub vegetatif, meliputi sel-sel yolk yang berukuran besar (makromer) yang merupakan bakal sel-sel endoderm. Mengandung banyak butir-butir yolk.
- Daerah sub ekuatorial berupa sel-sel cincin marginal, meliputi daerah kelabu (gray crescent). Daerah ini secara normal akan membentuk sel-sel mesoderm.

Pada blastula katak, atap blastocoel terdiri atas 2-4 lapisan sel. Alas blastocoel adalah sel-sel yolk. Rongga blastocoel terletak lebih ke kutub anima. Menurut Nieuwkoop, fungsi rongga blastula adalah membatasi interaksi antara bakal ektoderm dan sel-sel endoderm pada cincin marginal yang mengelilingi tepi blastocoel.



Gambar 7.4 Blastula pada Katak  
Sumber: Huettner, 1957

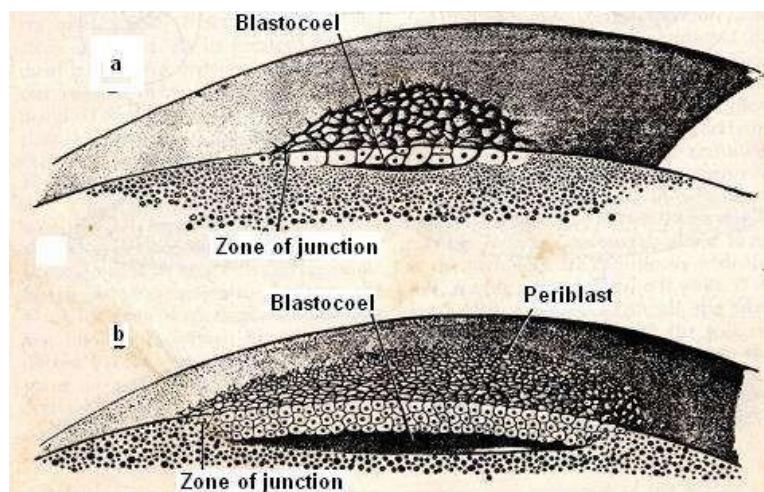
#### 4. Blastula Pada Aves

Blastula pada burung adalah blastula berbentuk cakram atau tudung. Setelah lapisan tunggal blastoderm terbentuk, selanjutnya blastoderm mengalami pembelahan secara ekuatorial atau horizontal, dan menghasilkan 3-4 lapisan sel. Pada stadium ini, blastodisk terdiri

atas dua daerah yang berbeda, yaitu:

- Area pelusida, yaitu daerah yang tampak bening terletak di atas rongga subgerminal.
- Area opaka, yaitu daerah yang tampak gelap, terletak pada bagian tepi blastodisk.

Pada beberapa jenis aves, rongga subgerminal juga merupakan rongga blastula. Pada ayam dan bebek, blastocoel terbentuk setelah terjadi delaminasi blastoderm membentuk lapisan sel bagian bawah yang disebut hipoblas primer, dan lapisan sel bagian atas yang disebut epiblas. Celah di antara hipoblas dan epiblas disebut blastocoel.



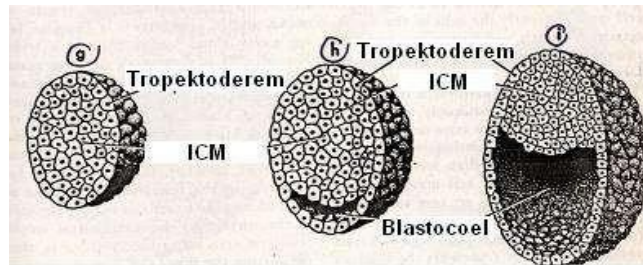
Gambar 7.5 Pembentukan Rongga Blastula pada Ayam

Sumber: Gilbert, 1985

## 5. Blastula pada Mamalia

Blastula pada mamalia disebut blastokista, memiliki sebuah rongga yang berisi cairan yang dikelilingi oleh selapis sel pada bagian tepi yang disebut tropoblas atau tropektoderm. Pada bagian dalam embrio ke arah kutub anima, terdapat sekelompok sel-sel dalam (innercell mass). Tropoblas merupakan bagian ekstraembrio yang kelak membentuk selaput korion dan turut serta dalam pembentukan plasenta. Sedangkan massa sel-sel dalam akan berkembang menjadi embrio yang sesungguhnya.





Gambar 7.6 Skema Blastula pada Embrio Mamalia  
Sumber: Huettner, 1949

Adanya rongga blastula memungkinkan untuk berlangsungnya gerakan-gerakan morfogenik untuk reorganisasi sel-sel embrio pada stadium perkembangan selanjutnya, khususnya pada stadium gastrula. Pada mamalia, fertilisasi berlangsung pada bagian ampulla oviduk. Zigot yang terbentuk bergerak menuju uterus sambil melangsungkan pembelahan. Pada stadium blastula, embrio siap untuk mengalami implantasi. Sambil terimplantasi, blastula akan berkembang, dan sementara itu terjadi plasentasi pada jaringan tropektoderm dan jaringan endometrium induk.

### C. Sel Lineage

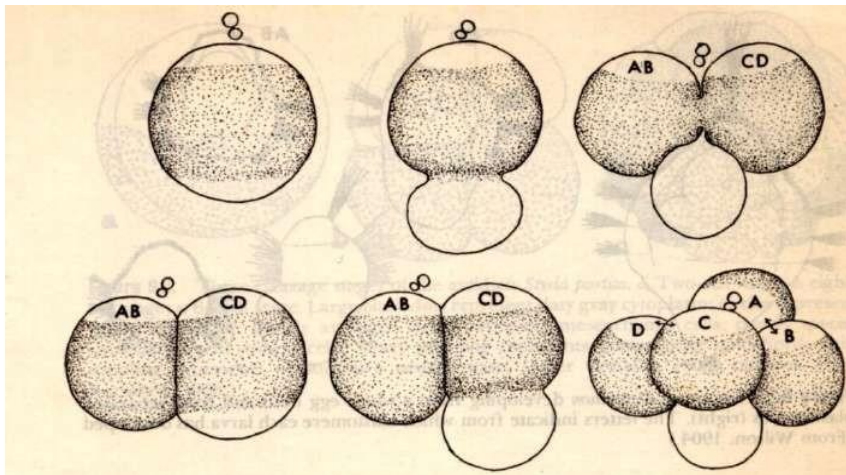
Bila diperhatikan dari aspek pembelahan dan garis keturunannya, telur pada berbagai jenis hewan dapat dibagi menjadi dua tipe, yaitu (i) telur regulatif dan (ii) telur mosaik. Umumnya telur pada berbagai jenis invertebrata dan vertebrata tergolong telur tipe regulatif, kecuali pada turbellaria, annelida, dan mollusca. Telur pada hewan-hewan yang disebutkan di atas termasuk telur tipe mosaik.

Awal perkembangan zigot pada berbagai jenis hewan melangsungkan serangkaian pembelahan membentuk blastomer-blastomer. Pada telur regulatif, setiap blastomer bilamana dipisahkan dan dikultur akan berkembang menjadi satu individu yang sempurna. Blastomer-blastomer pada telur mosaik tidak dapat berkembang menjadi satu individu baru.

Ketidakmampuan blastomer-blastomer telur tipe mosaik untuk menghasilkan satu individu baru disebabkan karena pada sitoplasma telur-telur tersebut telah terdeterminasi lebih awal, sehingga kemampuan-kemampuan umumnya telah hilang dan berganti dengan kemampuan-kemampuan yang lebih khusus. Fenomena seperti ini

disebabkan karena setiap blastomer-blastomer membawa determinan-determinan yang tidak sama sehingga potensinya menjadi terbatas untuk membentuk organ-organ tertentu saja. Jadi pada telur tipemosaik, segregasi sitoplasmik tidak sama, misalnya pada *Dentalium*.

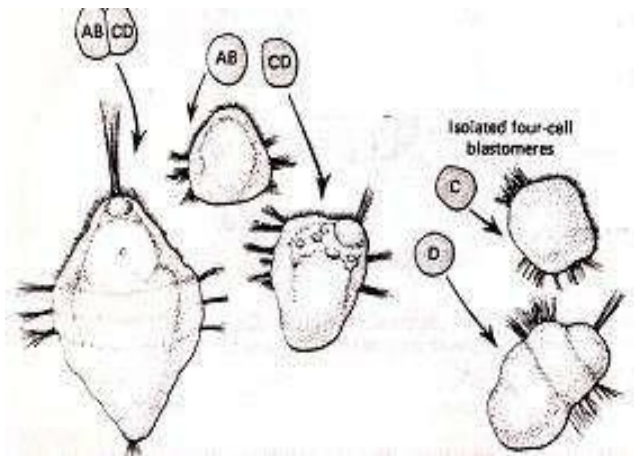
Zigot pada *Dentalium*, sebelum pembelahan pertama dimulai, sebahagian dari sitoplasma sel telur keluar dari kutub vegetatif dan membentuk lobus polar (gambar)



Gambar 7.7 Pembelahan zigot pada *Dentalium*  
Sumber: Carlson, 1989

Pada stadium dua sel, setiap blastomer mengandung determinan sitoplasmik yang berbeda. Blastomer pertama dinamakan AB, dan yang kedua dinamakan CD. Pada stadium ini lobus polar menempel pada bagian bawah blastomer CD. Sebelum pembelahan kedua dimulai, lobus polar berfusi masuk ke dalam blastomer CD, kemudian kedua blastomer tersebut membelah dan membentuk empat blastomer, yaitu A, B, C, dan D. Pada stadium ini lobus polar menempel pada blastomer D.

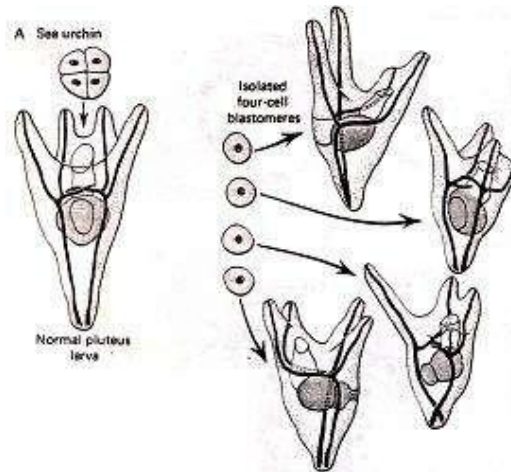




Gambar 7.8 Percobaan yang Menunjukkan Sifat Mosaik Telur *Dentalium*  
Sumber: Carlson, 1989

Berbagai hasil eksperimen menunjukkan bahwa bilamana pada stadium dua sel lobus polar dilepaskan, maka embrio yang terbentuk tidak membentuk struktur-struktur mesoderm. Sedangkan bila pada stadium dua sel kedua blastomer dipisahkan, maka blastomer yang tidak mengandung lobus polar tidak membentuk struktur-struktur mesoderm (gambar 8.8). Hasil percobaan tersebut menunjukkan bahwa komposisi kimia sitoplasma pada lobus polar memengaruhi pola ekspresi gen (Carlson, 1989).

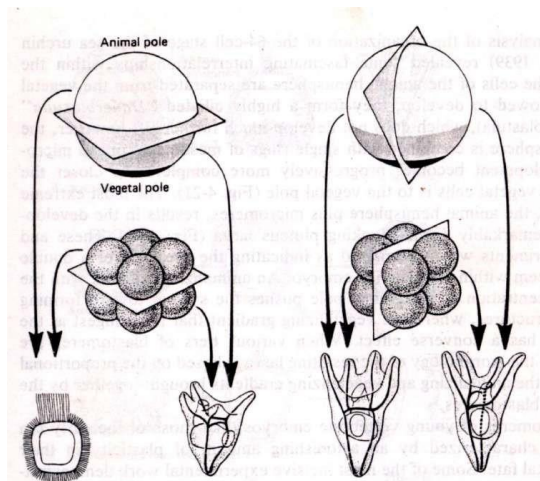
Pada dasarnya sifat telur yang regulatif dan mosaik merupakan peristiwa yang relatif, karena pada berbagai jenis hewan, kedua sifat tersebut dapat ditampilkan dalam kondisi eksperimen, misalnya embrio bintang laut pada stadium empat sel. Bila masing-masing blastomer dipisahkan, maka ke 4 blastomer tersebut akan berkembang menjadi empat larva pluteus. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa telur bintang laut bersifat regulatif.



Gambar 7.9 Percobaan yang Menunjukkan Sifat Regulatif pada Embrio Bintang Laut Stadium 4 Sel

Sumber: Carlson, 1988

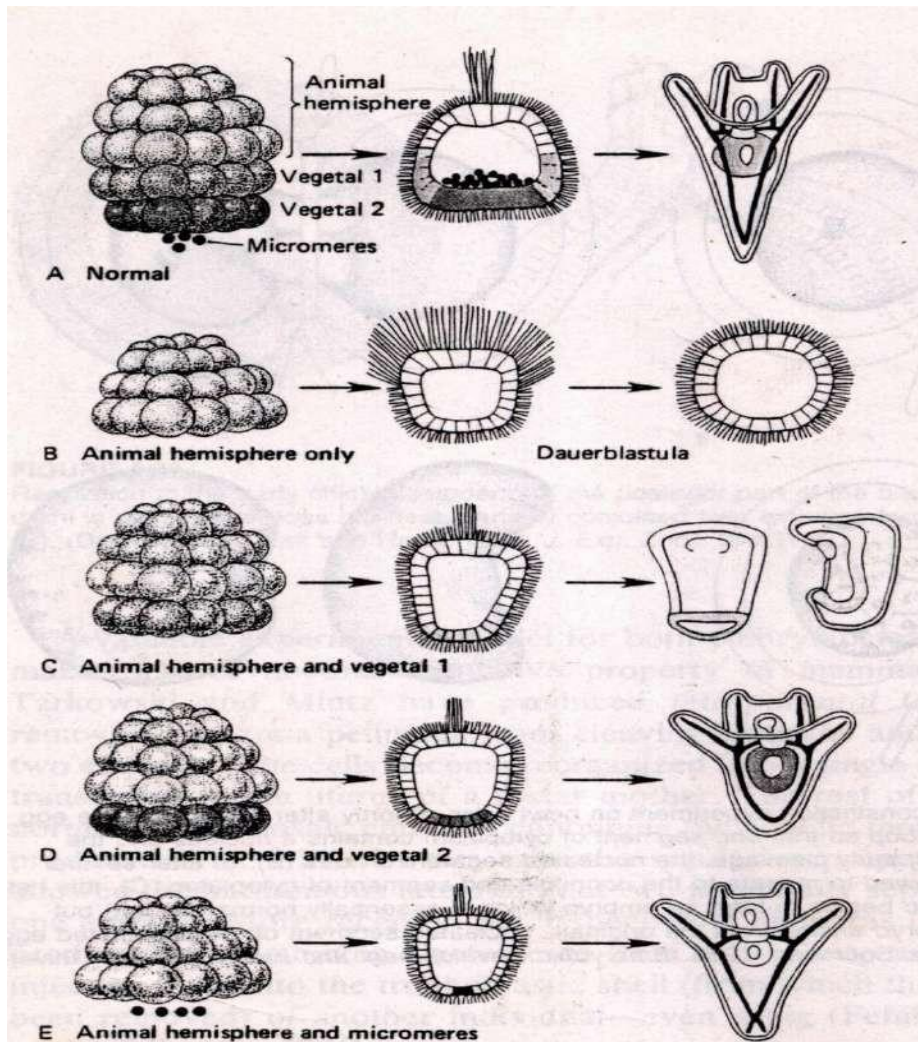
Embrio bintang laut pada stadium 8 sel, sifat mosaik dan regulatif dapat ditunjukkan, tergantung pola pemisahan blastomernya, pemisahan blastomer berlangsung secara ekuatorial sehingga memisahkan daerah anima dan vegetatif. Blastomer pada daerah vegetatif akan berkembang menjadi larva *pluteus*, tetapi blastomer pada bagian anima gagal membentuk larva *pluteus*. Bila pemisahan dilakukan secara meridional, maka setiap bagian membawablastomer-blastomer dari kutub anima dan vegetatif, maka keduabelahan akan berkembang menjadi larva *pluteus*.



Gambar 7.10 Sifat Mosaik dan Regulatif Telur Bintang Laut Tergantung pada Pola Pemisahan Blastomernya

Sumber: Carlson, 1988

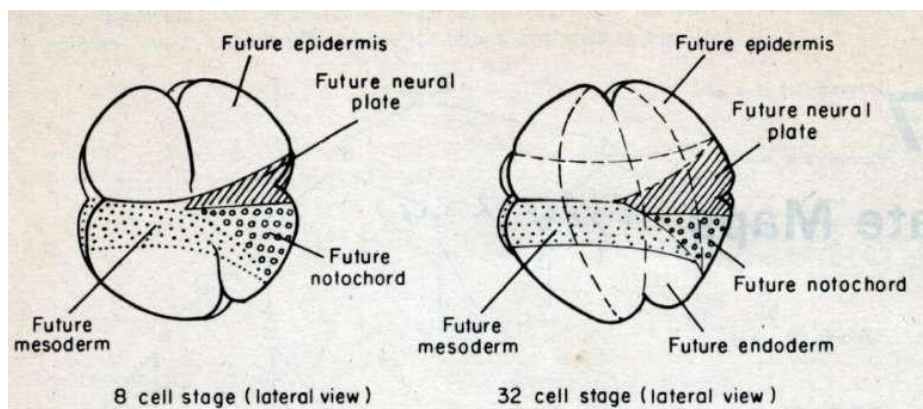
Makin lanjut proses perkembangan, maka blastomer-blastomer secara bertahap mengalami determinasi sehingga sifat-sifat regulatifnya semakin berkurang. Dengan demikian tidak semua blastomer mampu membentuk satu individu utuh. Hal tersebut dibuktikan melalui percobaan pada embrio bintang laut stadium blastula.



Gambar 7.11 Percobaan yang Menunjukkan Berkurangnya Sifat Regulatif Embrio Sejalan dengan Makin Lanjutnya Perkembangan  
Sumber: Carlson, 1988

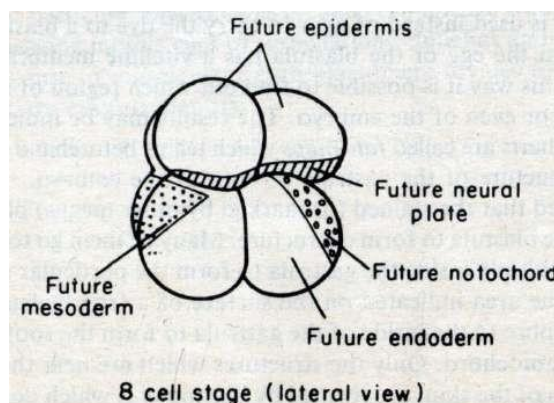
#### D. Peta Nasib

Peta nasib menggambarkan tentang nasib berbagai daerah yang terdapat pada suatu embrio. Orang pertama yang membuat peta nasib adalah Walter Vogt. Ia mengadakan percobaan pada blastula amphibian dengan menggunakan zat warna neutral red untuk mewarnai berbagai daerah yang terdapat pada embrio, dan selanjutnya diikuti perkembangannya hingga stadium tertentu. Cara yang demikian memungkinkan untuk diketahui bahwa daerah yang pernah diwarnai pada stadium lanjut menjadi daerah A atau B. Cara ini memungkinkan nasib dari bagian-bagian embrio dapat ditelusuri dan digambarkan dalam bentuk peta dan diberi nama dengan peta nasib.



Gambar 7.12 Peta Nasib Morula Amphioxus

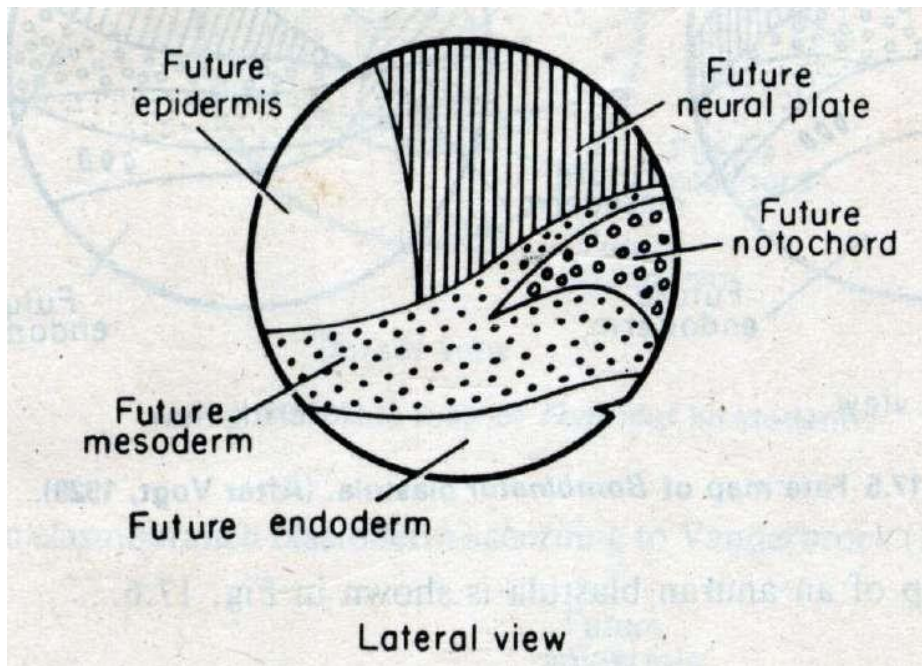
Sumber: Majumdar, 1985



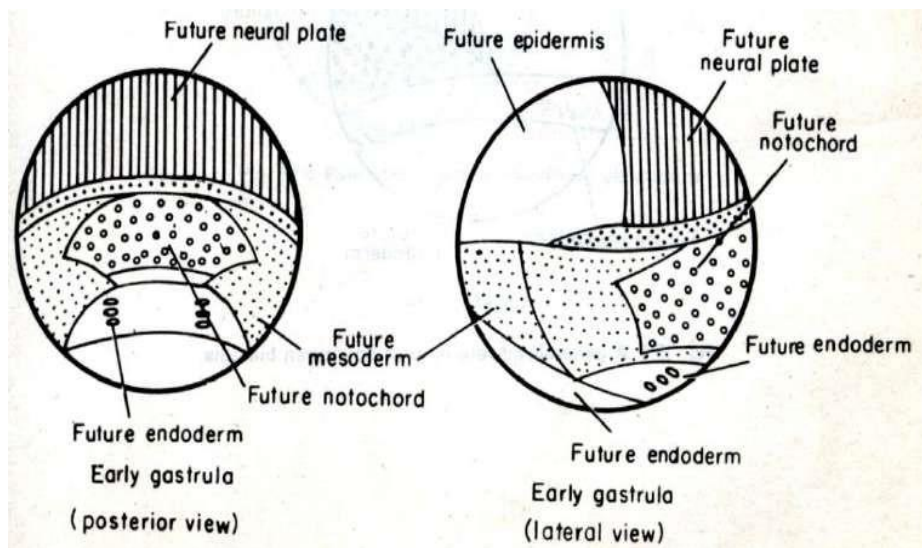
Gambar 7.13 Peta Nasib Blastula Ascidian

Sumber: Majumdar, 1985

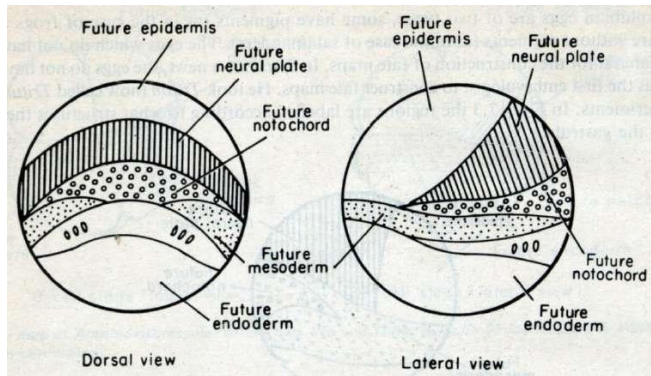




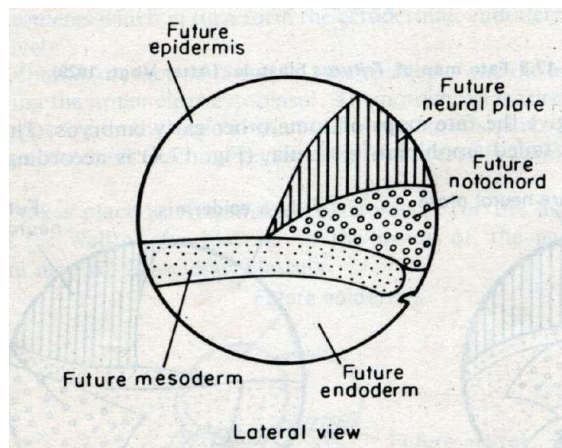
Gambar 7.14 Peta Nasib Blastula Triturus  
Sumber: Majumdar, 1985



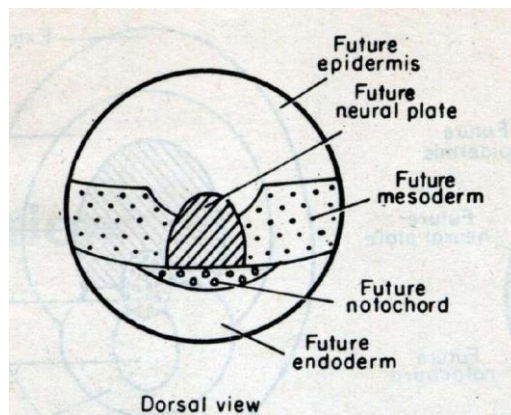
Gambar 7.15 Peta Nasib Gastrula Axolotl  
Sumber: Majumdar, 1985



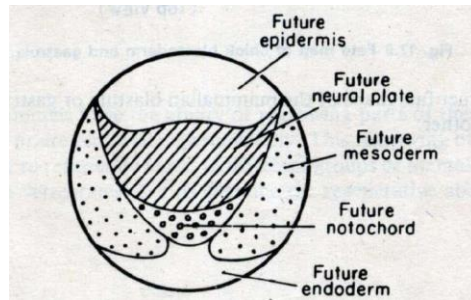
Gambar 7.16 Peta Nasib Blastula Bombinator  
Sumber: Majumdar, 1985



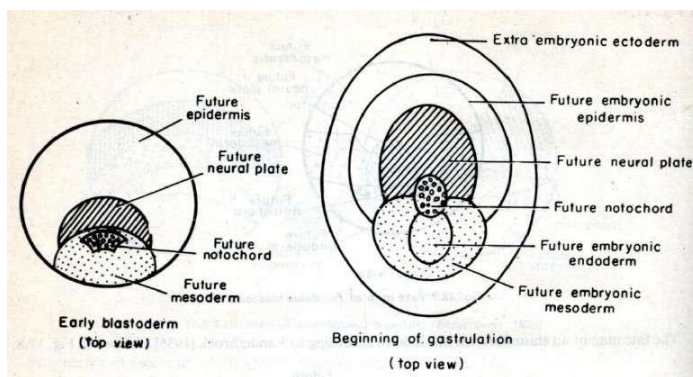
Gambar 7.17 Peta Nasib Blastula Anura  
Sumber: Majumdar, 1985



Gambar 7.18 Peta Nasib Blastoderm Fundulus  
Sumber: Majumdar, 1985



Gambar 7.19 Peta Nasib Blastoderm Shark  
Sumber: Majumdar, 1985



Gambar 7.20 Peta Nasib Blastoderm dan Gastrulasi Ayam  
Sumber: Majumdar, 1985



## Latihan

1. Tuliskan deskripsi 4 macam blastula pada berbagai jenis hewan disertai dengan contoh!
2. Buatlah matriks perbandingan antara blastula bintang laut, amphioxus, amfibia, aves dan mamalia!
3. Jelaskan perbedaan antara telur regulatif dan telur mosaik, berikan masing-masing satu contoh!
4. Embrio bintang laut pada stadium 8 sel, sifat mosaik dan regulatif dapat ditunjukkan tergantung pola pemisahan blastomernya. Pemisahan blastomer berlangsung secara ekuatorial sehingga memisahkan daerah anima dan vegetatif. Blastomer pada daerah vegetatif akan berkembang menjadi larva pluteus, tetapi blastomer pada bagian anima gagal membentuk larva pluteus. Jelaskan mengapa hal tersebut dapat terjadi!
5. Uraikan kegunaan pembuatan peta nasib pada berbagai jenis hewan!

# BAB VIII

## GASTRULASI

---

### A. Pengertian Gastrulasi

Gastrulasi adalah suatu proses yang dinamis, di mana berlangsung migrasi sel-sel atau lapisan sel-sel secara terintegrasi yang dilakukan melalui berbagai macam gerakan-gerakan morfogenik. Seiring dengan berlangsungnya gastrulasi, juga berlangsung proses diferensiasi. Migrasi sel-sel atau lapisan sel-sel selama gastrulasi dimaksudkan untuk:

- a. Menempatkan area perspektif endoderm ke dalam.
- b. Membungkus embrio dengan perspektif ektoderm.
- c. Menempatkan mesoderm di antara endoderm dan ektoderm.
- d. Membentuk arkenteron, bakal saluran pencernaan primitif.

Adanya migrasi sel-sel tersebut, menyebabkan terjadinya perubahan lingkungan mikro dan menyebabkan terjadinya perubahan perilaku sel-sel atau kumpulan sel-sel, sehingga merangsang sel-sel yang bersangkutan untuk melakukan proses diferensiasi. Hasil proses difrensiasi sel tersebut menyebabkan terbentuknya lapisan ektoderm, endoderm, dan mesoderm. Ketiga lapisan tersebut dinamakan lapisan lembaga. Karena yang terbentuk ada tiga lapisan lembaga, maka dinamakan triploblastik, misalnya pada ayam, sapi, dan manusia. Beberapa jenis hewan pada masa perkembangan embrionalnya hanya membentuk dua lapisan lembaga, yaitu ektoderm dan endoderm. Karena hanya dua lapisan lembaga yang terbentuk, maka dinamakan diploblastik, misalnya porifera dan coelenterata. Ketiga lapisan lembaga di atas merupakan lapisan lembaga yang bersifat seluler dan pada tahap perkembangan selanjutnya akan menghasilkan berbagai tipe jaringan atau organ yang menyusun tubuh suatu organisme.

### B. Gerakan Morfogenik

Berbagai jenis gerakan-gerakan morfogenik yang terlibat

selama berlangsungnya gastrulasi antara lain epiboli, invaginasi, evaginasi, involusi, ingresi, poliiinvaginasi, konkresensi, dan gerakan amuboid. Epiboli adalah pergerakan lapisan epitelium (ektoderm) membungkus bagian embrio yang lain. Invaginasi adalah pelipatan lapisan sel dari luar ke dalam, misalnya pembentukan arkenteron pada amphioxus. Evaginasi adalah pelipatan lapisan dari dalam ke luar, misalnya eksogastrula. Involusi adalah pelentikan sel-sel dari lapisan luar yang menyebar dan masuk ke bagian dalam, misalnya penyebaran sel-sel luar ke arah blastophorus amphibian. Ingresi adalah migrasi sel-sel secara sendiri-sendiri dari permukaan ke dalam, misalnya pembentukan mesenkim primer pada blastula bintang laut. Delaminasi adalah pemisahan lapisan sel dari suatu lapisan tunggal, misalnya pembentukan lapisan hipoblas pada embrio ayam. Konkresensi atau konvergensi adalah pembelahan yang serentak dan diikuti dengan pergerakan secara terkoordinasi, misalnya pembentukan primitive streak pada embrio ayam. Gerakan amuboid adalah migrasi sel-sel sebagai suatu individu tunggal. Misalnya migrasi sel-sel neural crest. Beberapa kejadian-kejadian penting selama berlangsungnya gastrulasi, yaitu:

- a. Reorganisasi sel-sel atau kelompok sel akibat gerakan-gerakan morfogenik.
- b. Ritme pembelahan sel menurun.
- c. Tumbuh tidak nyata, walaupun ada sedikit sekali.
- d. Metabolisme berubah corak, oksidasi menjadi lebih intensif.
- e. Peran inti menjadi lebih aktif dalam mengontrol aktivitas sel-sel embrio. Peran kromosom induk menjadi lebih nyata.

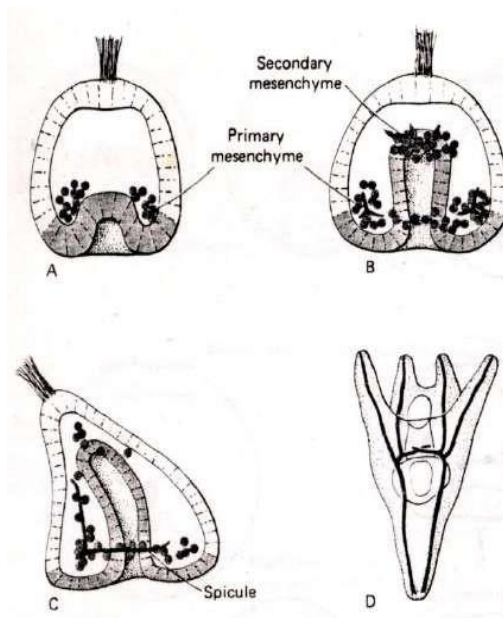
Sintesis protein-protein baru yang sebelumnya belum terdapat di dalam sel telur.

### **C. Gastrulasi**

#### **1. Gastrulasi Asterias**

Gastrulasi pada asterias melibatkan gerakan-gerakan morfogenik terutama invaginasi atau pelipatan ke dalam. Invaginasi menyebabkan terbentuknya epiblast dan hypoblast. Epiblasts kelak akan membentuk ektoderm, terutama epidermis dan hypoblast akan mendindingi saluran pencernaan makanan. Hasil invaginasi ini juga

menyebabkan terbentuknya rongga baru yang disebut rongga gastrocoel atau rongga arkenteron, sedangkan rongga blastula atau blastocoel secara bertahap tereliminasi. Lubang yang menghubungkan arkenteron keluar disebut blastoporus dan kelak berkembang menjadi anus. Pada puncak hypoblast terlepas sel-sel mesenkim sekunder bakal mesoderm dan kelak akan berkembang menjadi rangka utama (gambar 8.1)



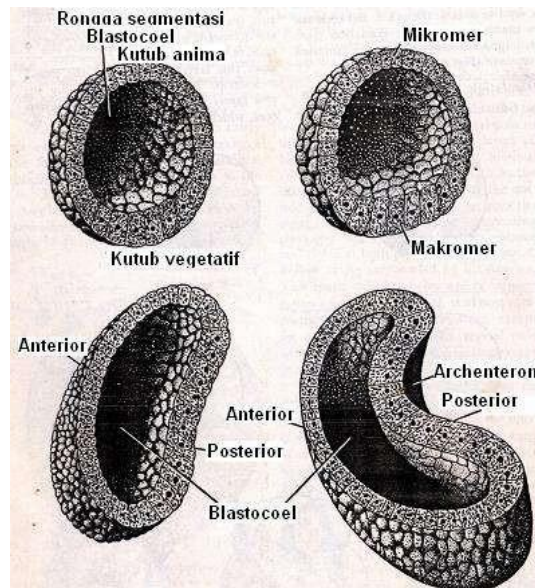
Gambar 8.1. Gastrulasi pada Asterias  
Sumber: Carlson, 1988

Pada stadium gastrula lebih lanjut, invaginasi telah berlangsung lebih jauh ke arah kutub anima (lihat gambar 7.1 B dan C) dan membentuk keping anima yang merupakan tempat tumbuhnya apical tuft atau umbul-umbul silia. Pada saat itu gastrula memiliki tiga macam lapisan lembaga, yaitu ektoderm, endoderm, dan mesoderm. Pada stadium perkembangan lebih lanjut arkenteron akan menyentuh ektoderm dan pada tempat tersebut akan dibentuk bakal mulut atau stomodeum. Selanjutnya arkenteron akan berdiferensiasi menjadi bagian-bagian saluran pencernaan makanan. Akhirnya akan terbentuk larva bipinnaria.

## 2. Gastrulasi Amphioxus

Gastrulasi amphioxus diawali pada daerah vegetatif embrio.

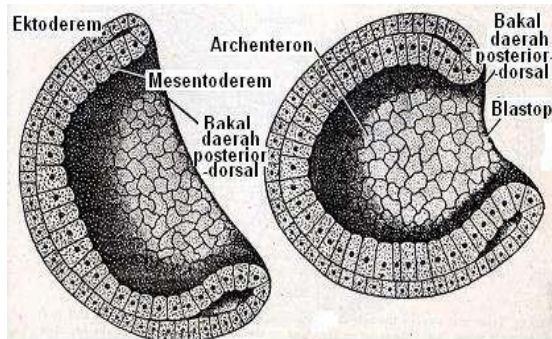
Mula-mula kutub vegetatif menjadi mendatar dan terdorong dan melipat ke arah dalam. Proses ini dinamakan invaginasi. Lapisan yang terinvaginasi secara bertahap akan menghilangkan rongga blastula dan bertemu dengan lapisan blastomer yang berada di kutub anima.



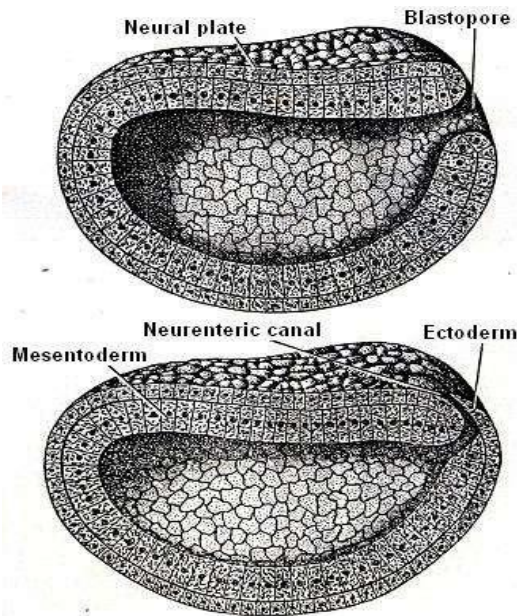
Gambar 8.2 Awal Gastrulasi pada Amphioxus  
Sumber: Huettner, 1957

Sementara hal tersebut berlangsung, mitosis berjalan terus diikuti dengan terjadinya pelentikan sel-sel dari luar ke dalam melalui tepi blastoporus. Proses ini disebut involusi. Melalui invaginasi dan involusi, terbentuk ektoderm dan endoderm. Ektoderm sekarang membungkus embrio secara keseluruhan melalui proses epiboli. 6-7 jam sesudah pembuahan, terbentuk gastrula yang memiliki struktur berbentuk cangkir, terdiri atas lapisan sel bagian luar yang disebut epiblas yang akan menjadi ektoderm, dan lapisan sel bagian dalam atau hipoblas yang akan menjadi mesoderm dan endoderm. Rongga yang dibatasi oleh kedua pertemuan lapisan ini disebut arkenteron atau gastrocoel. Lubang yang menghubungkan rongga ini dengan daerah sebelah luarnya disebut blastoporus. Pada awal gastrulasi, blastoporus sangat besar, namun dengan pemanjangan dan pendataran bagian dorsal gastrula, blastoporus menjadi semakin kecil hingga tampak sebagai suatu lubang sempit yang terbuka atau pori

saja.



Gambar 8.3 Gastrula Amphioxus dengan Sisa Blastocoel  
Sumber: Huettner, 1957



Gambar 8.4 Gastrula Amphioxus dan Pembentukan Neurenteric Canal  
Sumber: Huettner, 1957

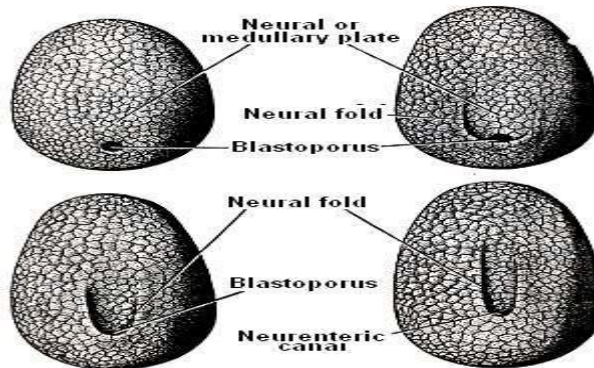
Aspek penting lain yang terjadi selama gastrulasi adalah gastrula mengalami perubahan polaritas atau rotasi kurang lebih 120°, sehingga kutub anterior terletak di anterior, dan kutub vegetatif terletak pada posterior. Bagian tepi archenteron (gastrocoel) dibentuk oleh endoderm, sedangkan bagian atap dibentuk dari median khorda mesoderm dengan lembar mesoderm lateral pada sisi tepi.

Selanjutnya dengan segera pertumbuhan dan diferensiasi gastrula berlangsung, meliputi pembentukan tiga sistem organ yang penting, yaitu sistem saraf, mesoderm dengan diferensiasi sekunder, dan notochord. Primordial ketiga sistem tersebut dibentuk secara simultan, namun dibicarakan secara terpisah.

Sistem saraf pusat mulai dibentuk pada saat daerah dorsal gastrula mengalami pemanjangan, mendatar dan mengalami penebalan seluler. Daerah tengah dari permukaan ektoderm yang mendatar membentuk lempeng neural yang kelak berkembang menjadi sistem saraf. Setiap sisi dari lempeng neural yang kelak berkembang menjadi sistem saraf. Setiap sisi dari lempeng neural, dimulai pada ujung posterior tampak penebalan secara longitudinal dan keduanya mengalami pertumbuhan berbentuk kurva ke atas dan bertemu pada bagian tengah, dan pada akhirnya menjadi atap bagi lempeng neural. Bagian ini dinamakan neural fold atau lipatan neural. Pembentukan neural fold dimulai pada blastoporus dan bergerak ke arah anterior dan bersatu pada bagian tengah dorsal dan juga menutupi blastoporus.

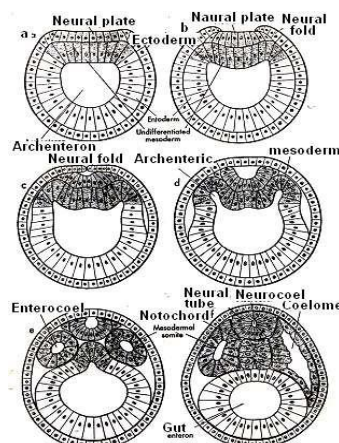
Sementara itu *lempeng neural* pada bagian tengah membentuk *neural groove*. Bagian tepi lateral dari neural groove tumbuh ke atas dan pada bagian tengah dorsal bersatu membentuk tabung saraf atau *neural tube*. Rongga di dalam tabung saraf disebut neurochol. Penutupan tabung saraf dimulai pada daerah somit pertama dari anterior ke posterior. Saluran neural tetap terbuka pada bagian posterior dan bagian ini berhubungan dengan blastoporus. Saluran penghubung antara neurochol dengan rongga archenteron disebut *neurenteric canal*. Bagian anterior tabung saraf yang terbuka dinamakan *neuropore*.



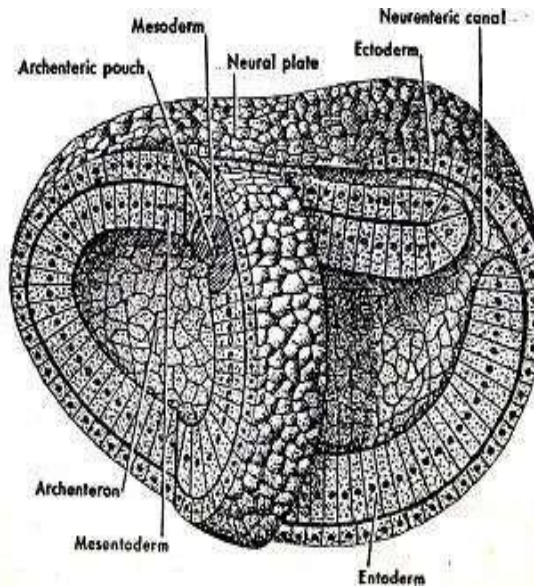


Gambar 8.5 Gastrula Amphioxus Menunjukkan Pertumbuhan Ektoderm yang Progresif di atas Blastoporus pada Pembentukan Neural Fold  
Sumber: Huettner, 1957

Saat lempeng neural mulai ditransformasi menjadi tabung saraf, dinding dorsolateral archenteron tampak mengalami pelipatan yang dangkal ke luar pada kedua lateral membentuk lekukan. Setiap lekukan memiliki rongga yang mengarah ke archenteron dan kantung tersebut dinamakan kantung archenteric atau kantung enterocoelic. Kantung ini selanjutnya tumbuh ke arah luar dan dalam membentuk rongga di antara ektoderm dan endoderm. Kantung tersebut merupakan primordial mesoderm somit pertama. Pada perkembangan selanjutnya, kedua kantung tersebut membentuk struktur menyerupai bola, dan rongganya terpisah dari archenteron. Rongga tersebut dinamakan enterocoel dan kelak menjadi coelom.

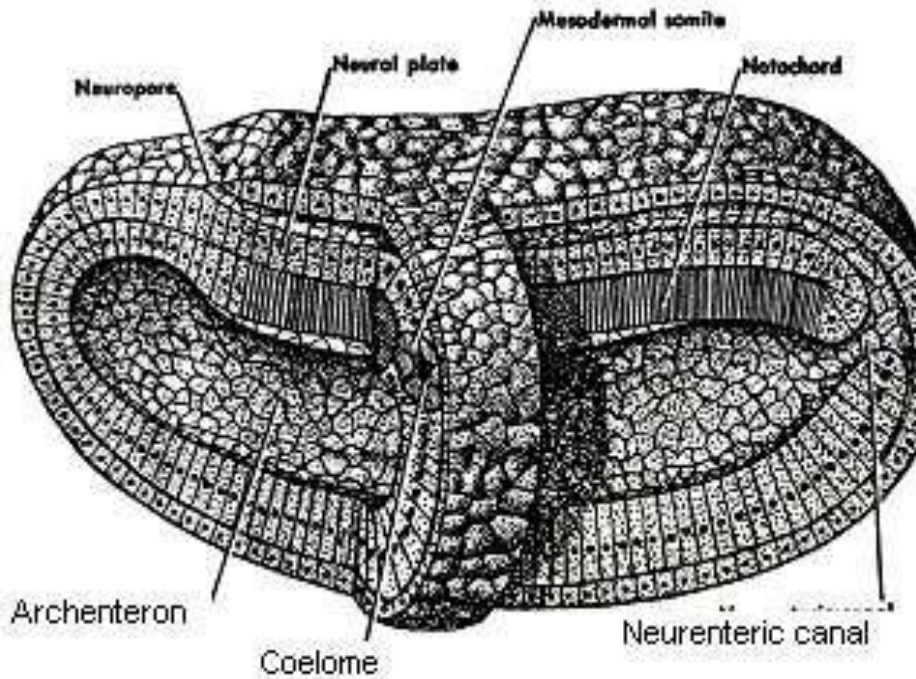


Gambar 8.6. Sayatan Transversal Melalui Embrio Amphioxus (A,B) Gastrula (C-F) Stadium Post Gastrula  
Sumber: Huettner, 1957

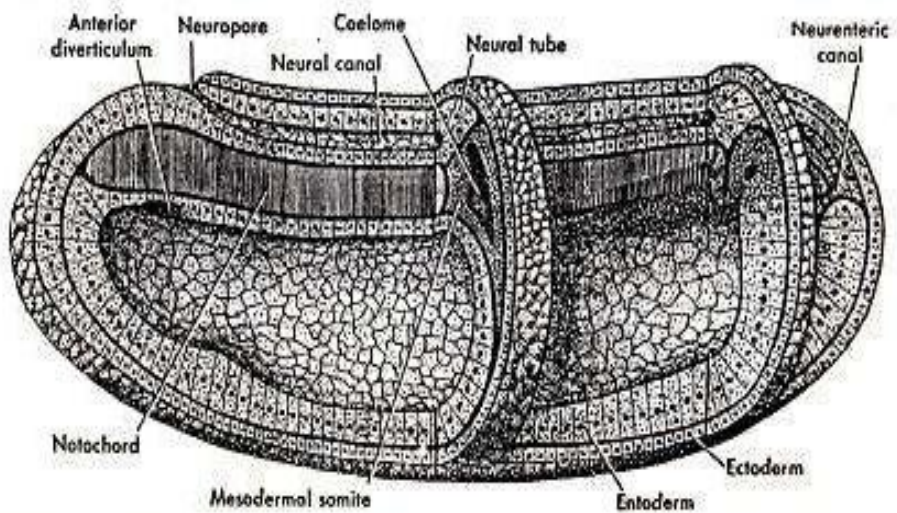


Gambar 8.7. Embrio *Amphioxus* dengan Pembentukan Kantung Enterocoelic  
Sumber: Huettner, 1957

Diferensiasi mesoderm lebih lanjut membentuk chordadorsalis atau notochord. Diferensiasi ini berlangsung secara simultan dengan pembentukan mesoderm somit yang dibicarakan sebelumnya. Notochord dibentuk dari sel-sel yang terletak pada daerah median dorsal archenteron di antara dua lekuk mesodermal. Pada mulanya notochord dibentuk melalui pembentukan lekukan, di mana rongganya mengarah ke archenteron. Seiring dengan peningkatan panjang embrio sel-sel notochord terus dihasilkan melalui proliferasi yang cepat pada daerah median dorsal bibir blastoporus. Lekuk notochord akhirnya membentuk batang notochord yang dimulai pada daerah anterior pada pasangan pertama kantung erchenteric dan merentang ke arah posterior. Pemisahan notochord dari endoderm berlangsung setelah pembentukan mesoderm somit kesembilan dan kesepuluh. Pada saat itu saluran pencernaan makanan hanya dibatasi oleh endoderm.



Gambar 8.8 Embrio Amphioxus, Kantung Archenteric Mengalami Konstriksi dan Membentuk Mesoderm Somit  
Sumber: Huettner, 1957

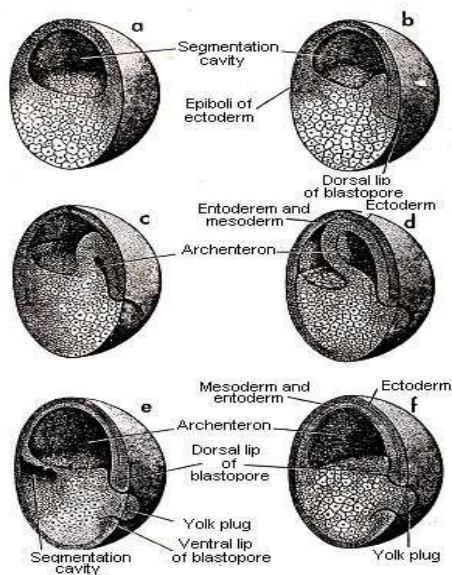


Gambar 8.9 Embrio Amphioxus dengan Tabung Saraf, Notokorda dan Mesoderm Somit yang Telah Terdiferensiasi  
Sumber: Huettner, 1957)

### 3. Gastrulasi Amphibia

Gastrulasi pada embrio katak dapat diinterpretasi dengan berbagai cara. Pembentukan lapisan lembaga pada katak terjadi melalui tiga gerakan morfogenik utama, yaitu:

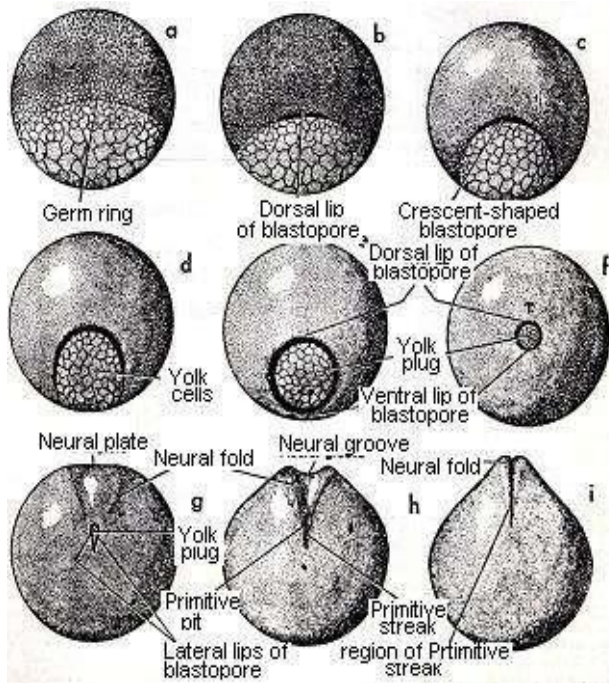
- 1) Epiboli, yaitu meluasnya mikromer dari kutub anima ke kutub vegetatif.
- 2) Invaginasi, yaitu melentiknya sel-sel ke arah dalam pada daerah kelabu, sehingga terbentuk blastoporus bagian dorsal dan bibir dorsal blastoporus. Pendalaman tersebut kemudian tumbuh ke arah lateral dan ventral, kemudian bertemu di daerah ventral sehingga terbentuk bibir-bibir lateral dan ventral blastoporus. Blastoporus sendiri membentuk cincin yang bagian tengahnya berisi yolk plug.
- 3) Involusi, terjadi bersamaan dengan epiboli, melalui bibir blastoporus dan aktivitas tinggi pada bibir dorsal blastoporus. Selanjutnya blastoporus akan menjadi kecil, bibir lateral bertemu, terbentuk daerah primitive.



Gambar 8.10 Blastula (A) Katak dan Transformasi Menjadi Gastrula (B-F) Daerah Tempat Berlangsungnya Gastrula Tampak pada Bagian Kanan Sisi Blastula. Gastrula dimulai. (B) Eliminasi Blastocoel atau Rongga Segmentasi Oleh Gastrocoel atau Archenteron (C-E) Gastrula Sempurna Dengan Mesenterem (Chorda-Mesoderm) di Bawah Ektoderm

Sumber: Huettnerm 1957



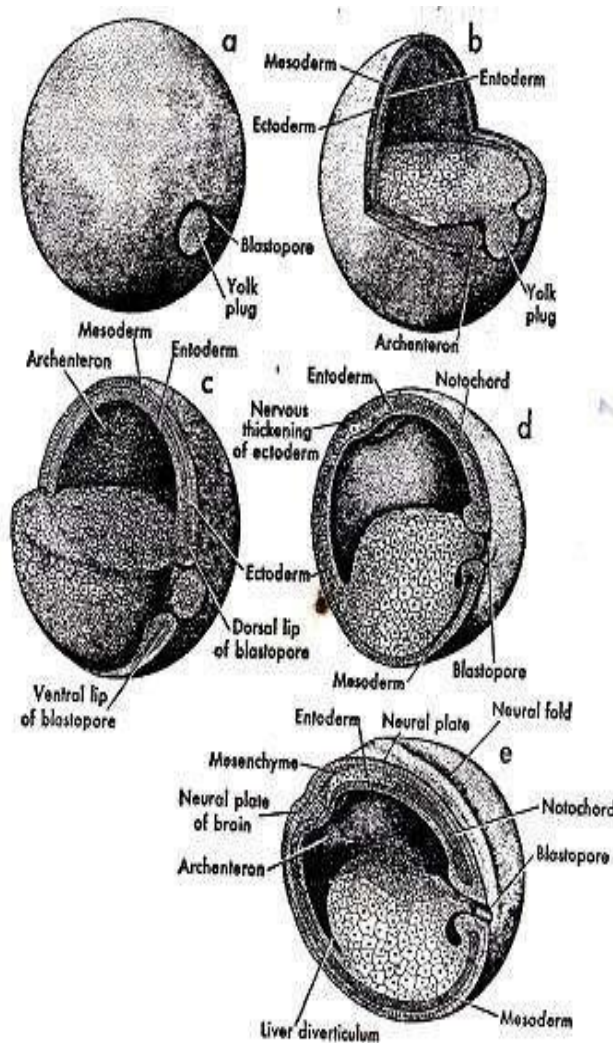


Gambar 8.11 Proses Gastrulasi pada Embrio Katak Dilihat dari Posterior atau Blastopore  
Sumber: Huettner, 1957

Berbeda dengan gastrulasi pada amphioxus, gastrulasi pada amphibian (katak) tidak dimulai pada daerah vegetatif, karena yolk yang terdapat pada daerah tersebut menghambat terjadinya invaginasi. Gastrulasi dimulai dengan terbentuknya suatu celah di bawah bidang equator kurang lebih pada daerah kelabu. Pada daerah kelabu memiliki konstitusi sel-sel yang berbeda dengan daerah lain. Pada daerah ini, tegangan permukaan sel lebih rendah dan sel-sel lebih bersifat mobil. Salah satu faktor yang menyebabkan sel-sel pada daerah kelabu memiliki mobilitas yang tinggi adalah karena sel-sel mengalami perubahan bentuk menjadi sel-sel botol yang lehernya terorientasi ke permukaan sehingga memungkinkan berlangsungnya perpindahan sel ke dalam. Pada daerah tersebut mula-mula terjadi indentasi atau pelengkungan yang disusul dengan terjadinya invaginasi dan pada akhirnya terjadi migrasi sel.

Lapisan pertama yang berpindah adalah sebagian kecil dari endoderm yang disusul dengan berpindahnya korda mesoderm. Sejalan dengan itu terbentuk suatu rongga baru yang disebut rongga arkenteron yang tumbuh semakin besar sejalan dengan berlangsungnya gastrulasi. Sementara itu rongga blastocoel mulai

tereliminasi sedikit demi sedikit.



Gambar 8.12 Gambar Ini Merupakan Kelanjutan dari Gambar 8.11, Penampakan Gastrula dari Luar (A) Sayatan Parsial yang Berbeda pada Gastrula (B,C) Entoderm Telah Mengalami Delaminasi Menjadi Lapisan Sel-Sel Tunggal. Mesoderm Dibentuk Dengan Cara Delaminasi dari Sel-Sel Yolk. Stadium Gastrula Lanjut (D,E) Blastoporus Menjadi Lebih Sederhana Dengan Yolk Plug dan Embrio Memanjang Dalam Aksis Anterior-Posterior dan Memasuki Stadium Neurula  
Sumber: Huettnner, 1957

Pada permukaan blastula berlangsung proses epiboli, yaitu meluasnya mikromer sebagai akibat aktivitas mitosis, dan perluasan tersebut mengarah ke kutub vegetatif. Mikromer-mikromer mencapai celah blastoporus yang telah terbentuk pada awal gastrulasi dan selanjutnya berinvolusi atau melentik ke arah dalam. Proses involusi dan invaginasi juga berlangsung pada sisi lateral celah blastoporus, sehingga celah blastoporus sekarang berbentuk seperti sepatu kuda.

Atap arkenteron pada mulanya adalah korda mesoderm, sedangkan alasnya adalah sel-sel yolk atau makromer, yaitu bakal

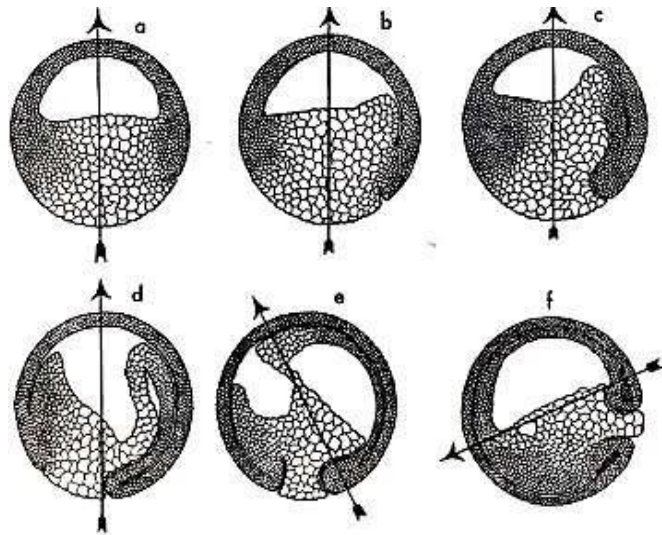
lapisan endoderm. Selanjutnya endoderm terbentuk di bawah korda mesoderm dan juga dihasilkan mesoderm lainnya sebagai hasil proliferasi dan migrasi sel-sel endoderm ke atas sel-sel yolk. Akibat peristiwa tersebut, maka atap arkenteron bagian lateral serta alasnya terdiri dari lapisan endoderm yang masih berupa sel-sel yolk.

Invaginasi selanjutnya berlangsung pada bagian ventral celah blastoporus. Invaginasi pada daerah ini tidak berlanjut dan blastoporussekarang berbentuk seperti cincin. Mikromer-mikromer yangmengitarinya sesuai dengan letaknya disebut bibir dorsal, bibir lateral, dan bibir ventral blastoporus. Kini proses gastrulasi menghasilkanembrio dengan tiga lapisan lembaga, yaitu ektoderm, mesoderm, dan endoderm.

Kini seluruh permukaan gastrula diliputi oleh mikromer yang berpigmen yang disebut ektoderm. Makromer yang menyumbat blastoporus dinamakan sumbat yolk atau yolk plug. Makin tua suatu gastrula, blastoporusnya semakin kecil dan selanjutnya menyempit membentuk suatu celah yang memanjang yang disebut daerah primitive atau *primitive streak*. Dinding sebelah dorsal dan lateral arkenteron terdiri atas beberapa lapisan sel.

Setelah gastrulasi selesai, lapisan sel yang tepat membatasi rongga arkenteron dan dinding terpisah, lapisan ini adalah lapisan endoderm. Ektoderm merupakan lapisan paling luar. Delaminasi lapisan endoderm dimulai pada bagian anterior embrio dan diteruskan ke arah posterior. Batang yang terbentuk daripadanya berdiferensiasi menjadi batang penyokong akasia; embrio yang disebut notokorda. Sisa dinding arkenteron yang terdapat di sisi kiri dan kanan notokorda menjadi mesoderm embrio yang akan tumbuh terus ke arah medio ventral untuk kemudian bertemu dan tumbuh menjadi satu. Seperti halnya pada amphioxus, selama gastrulasi pada amphibian juga terjadirotasi polaritas embrio.





Gambar 8.13. Skema Polaritas dan Rotasi Gastrula Katak  
Sumber: huettner, 1957

#### 4. Gastrulasi pada Aves

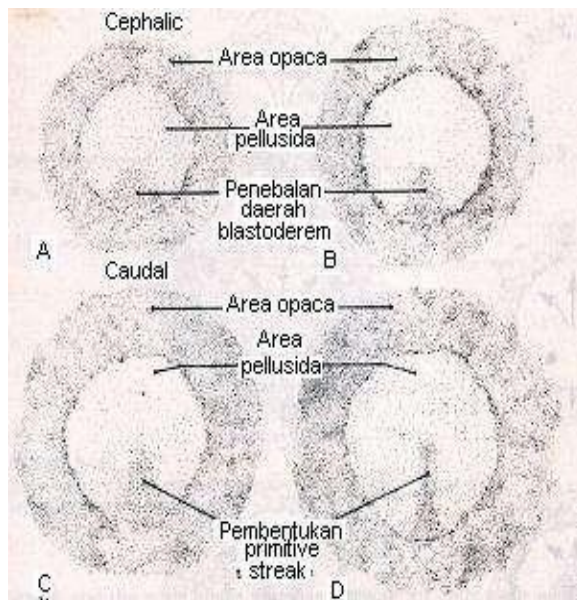
Gastrulasi pada aves berlangsung melalui kombinasi sejumlah gerakan-gerakan morfogenik, meliputi:

- 1) Poliinvaginasi, yaitu perpindahan sel-sel blastoderm untuk membentuk lapisan hipoblas.
- 2) Konkresensi, yaitu sel-sel pada blastoderm bagian anterior bermigrasi dan berhimpun pada bagian posterior.
- 3) Involusi, yaitu pelentikan sel-sel dari luar ke dalam.

Gastrulasi ditandai dengan terjadinya penebalan pada bagian posterior blastoderm kurang lebih pada umur 3 - 4 jam inkubasi. Penebalan tersebut berbentuk segitiga yang lebar, kemudian menyempit dan memanjang dan akhirnya membentuk suatu batang yang memanjang dari posterior ke anterior dan disebut sebagai primitive streak. Primitive streak berlangsung kira-kira pada umur 16 jam inkubasi.

Gastrulasi ditandai dengan terjadinya penebalan pada bagian posterior blastoderm kurang lebih pada umur 3 - 4 jam inkubasi. Penebalan tersebut berbentuk segitiga yang lebar, kemudian menyempit dan memanjang dan akhirnya membentuk suatu batang yang memanjang dari posterior ke anterior dan disebut sebagai primitive streak. Primitive streak berlangsung kira-kira pada umur 16

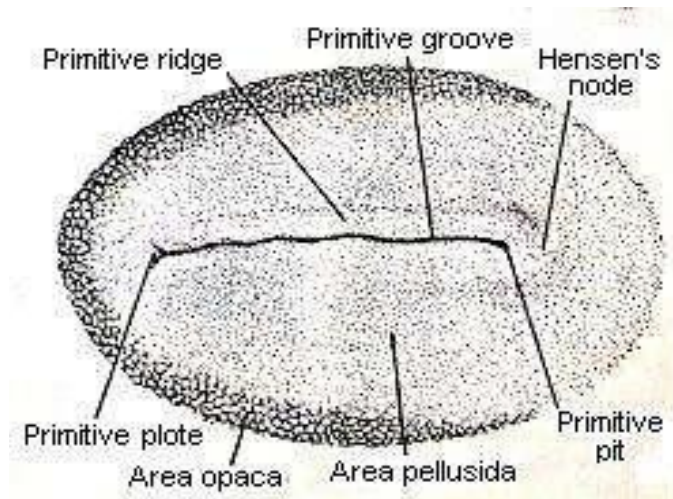
jam inkubasi.



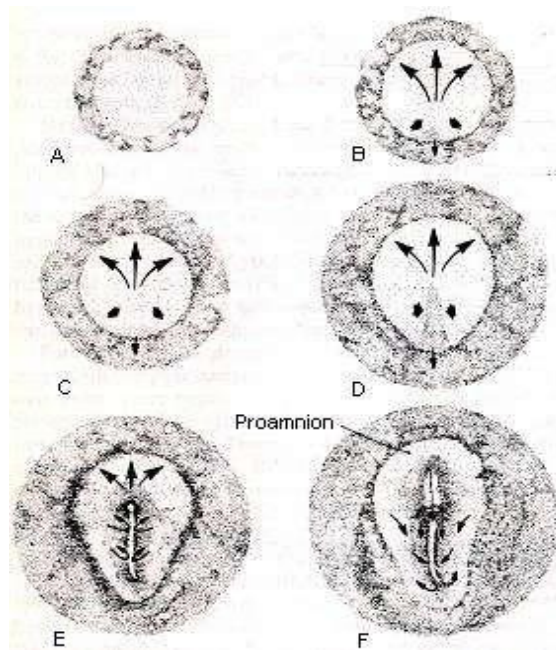
Gambar 8.14. Empat Stadium Pembentukan Primitive Streak pada Embrio Ayam  
Sumber: Carlson, 1988

Penebalan yang berlangsung pada daerah blastoderm disebabkan karena terjadinya konkresensi/konvergensi sel-sel epiblas ke arah median posterior. Sel-sel yang bermigrasi tersebut tidak ditumpuk melainkan pada suatu saat berinvolusi melalui daerah primitive dan mengisi tempat di antara epiblas dan hipoblas. Sel-sel tersebut kemudian menyebar ke arah lateral membentuk mesoderm. Wilayah blastoderm yang belum terjangkau oleh penyebaran mesoderm tampak lebih bening. Daerah tersebut dinamakan daerah proamnion. Daerah proamnion makin lama makin menyempit dan kemudian hilang setelah penyebaran mesoderm mencapai daerah tersebut.

Daerah primitive dapat disamakan dengan blastoporus pada amphibian. Terdiri atas sepasang pematang primitif atau *primitive ridge* dan sebuah parit primitif atau *primitive groove*. Pada ujung anterior daerah primitif terdapat suatu penebalan yang disebut primitive knot atau nodus Hensens. Tepat pada bagian posterior nodus Hensens terdapat lekukan parit yang agak dalam yang disebut lekuk *primitive pit*.



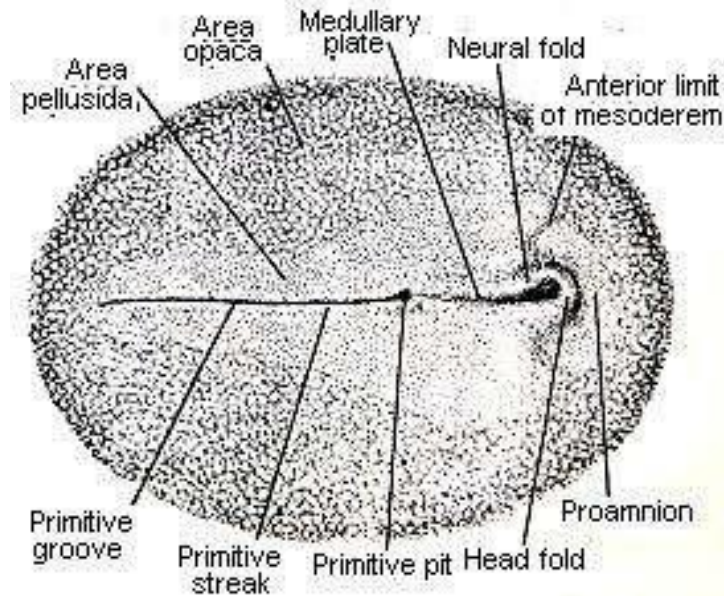
Gambar 8.15. Embrio Ayam Umur Inkubasi 16 Jam  
Sumber: Huettnner, 1957



Gambar 8.16 Diagram Yang Mengilustrasikan Pola-pola Pergerakan Sel dalam Pembentukan dan Pemanjangan Primitive Streak (A-D) Invaginasi Sel-sel Melalui Streak (E) dan Regresi Streak pada Embrio Ayam  
Sumber: Carlson, 1988

Setelah primitive streak mencapai pemanjangan yang penuh pada umur inkubasi 18 jam, ujung cephalic mulai beregresi dan terbentuk suatu struktur yang disebut **head process** atau lipatan kepala. Bagian area pelusida yang berdekatan dengan primitive streak

mulai menebal membentuk area embrional.

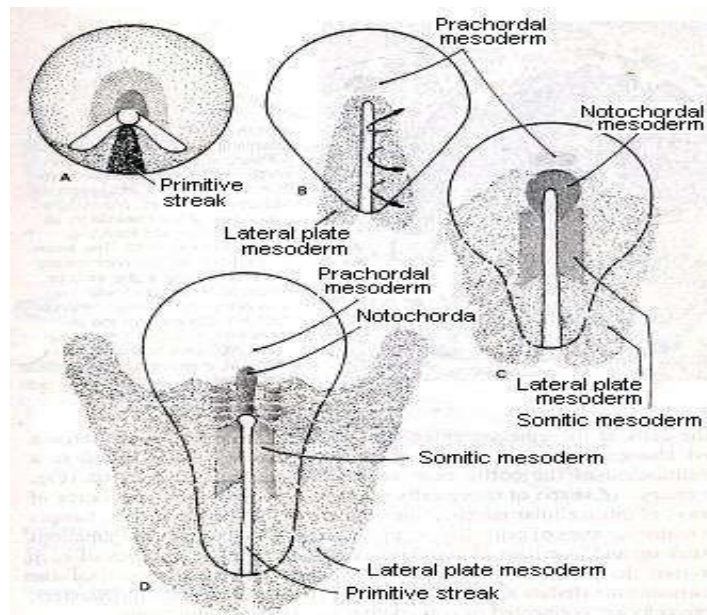


Gambar 8.17. Pembentukan Lipatan Kepala pada Embrio Ayam  
Sumber: Huettner, 1957

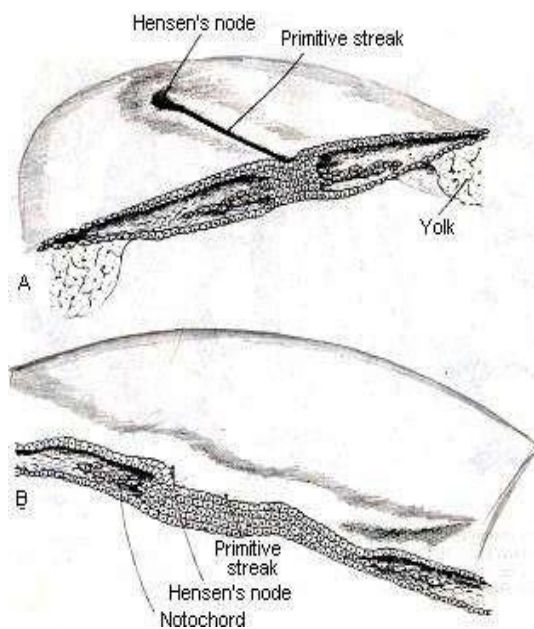
Mengiringi pembentukan dan pemanjangan primitive streak, area pelusida mengalami perubahan bentuk dari bentuk cakram sirkuler menjadi bentuk konfigurasi bulat. Sumbu memanjang bakal tubuh embrio diperankan oleh primitive streak.

Terbentuknya primitive streak dan Nodus Hansen's maka periode utama gastrulasi dimulai. Lapisan-lapisan lembaga dibentuk melalui migrasi sel-sel epiblas ke arah nodus Hensen's dan primitive streak, dan sel-sel beringresi untuk membentuk lapisan lembaga tengah dan bawah (mesoderm dan endoderm). Sel-sel pertama yang melintasi primitive streak bagian anterior adalah bakal endoderm dan diikuti oleh bakal mesoderm. Sel-sel bakal mesoderm menyebar di antara epiblas dan hipoblas membentuk lapisan tengah yang kini disebut sebagai mesoderm. Sel-sel yang bermigrasi melalui nodus Hensen's meluas ke depan dan sel-sel tersebut terkondensasi membentuk notokorda, sedangkan sisa sel-sel epiblast yang tidak berinvasi melalui daerah primitif akan tetap menjadi ektoderm.





Gambar 8.18. Tahap-Tahap Pembentukan Lapisan Mesoderm pada Embrio Ayam  
Sumber: Carlson, 1988



Gambar 8.19. Model Tiga Dimensi Embrio Awal Ayam yang Mengilustrasikan Migrasi Sel-Sel Endoderm dan Mesoderm Melalui Primitive Streak (A) Sayatan Transversal (B) Sayatan Sagital

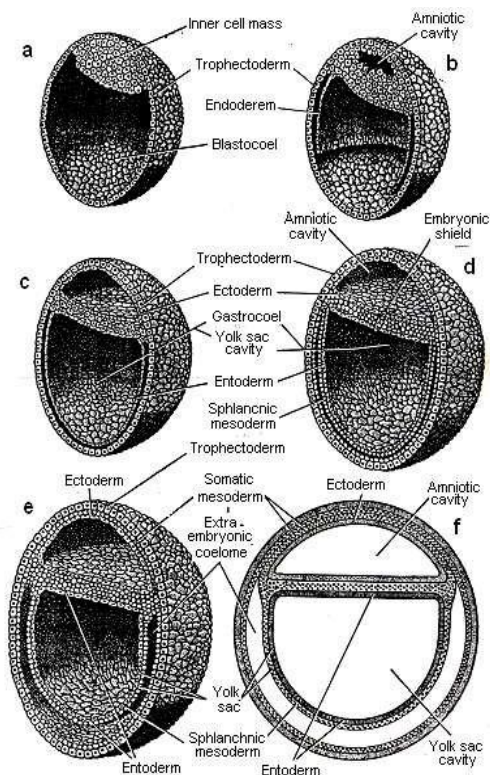
Sumber: Carlson, 1988

## 5. Gastrulasi pada Mamalia

Gastrulasi pada mamalia ditandai dengan terbentuknya rongga pada massa sel-sel dalam (*inner cell mass*) yang makin lama makin

besar dan dinamakan rongga amnion. Massa sel-sel dalam di bawah rongga amnion membentuk suatu keping yang dinamakan keping embrio atau embryonic disc yang kelak akan menghasilkan embrio. Keping embrio terdiri atas lapisan ektoderm yang berbatasan dengan rongga amnion dan endoderm yang berbatasan dengan blastocoel. Blastocoel terletak ke arah rongga uterus, sedangkan keping embrio dan rongga amnion tertanam ke arah dinding uterus.

Endoderm akan berproliferasi membentuk sel-sel pipih yang mendindingi blastocoel. Blastocoel sekarang menjadi gastrocoel atau arkenteron atau rongga kantung yolk. Endoderm yang mendindinginya akan menjadi bagian dari kantung yolk. Pada mamalia, kantung yolk tidak mengandung yolk.

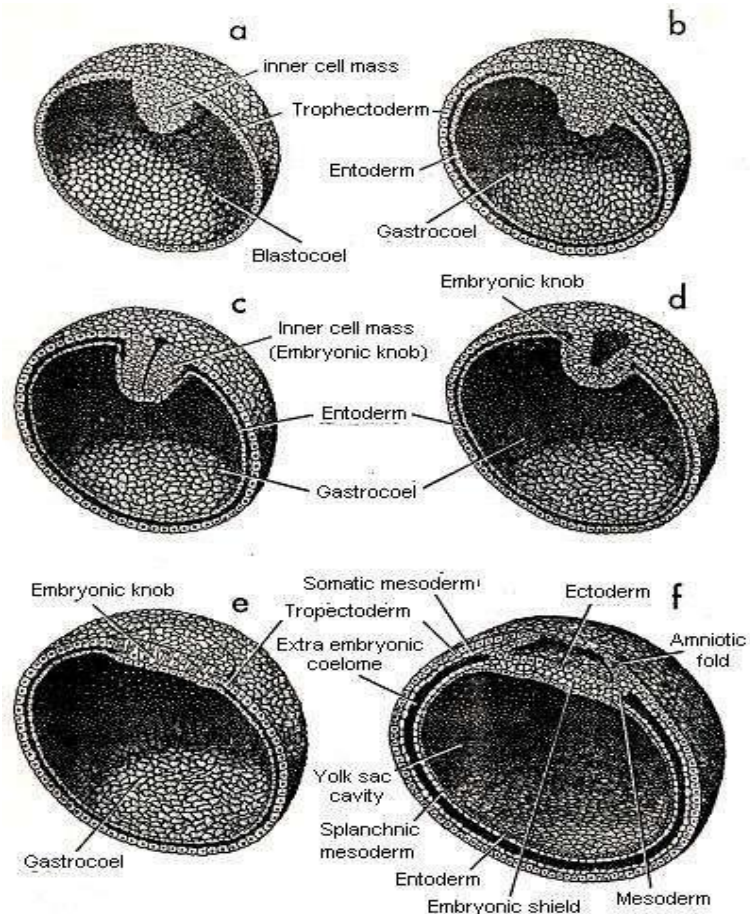


Gambar 8.20 Gastrulasi Embrio Mamalia. Massa Sel-Sel dalam Membentuk Rongga Amnion dengan Cara Delaminasi. *Embryonic Shield* Terletak di antara Rongga Amnion dengan Gastrocoel

Sumber: Huettner, 1957

Pada keping embrio berlangsung proses gastrulasi yang serupa dengan gastrulasi yang berlangsung pada gastrulasi ayam, sehingga terdapat stadium daerah primitif dan lapisan-lapisan lembaga

ektoderm, mesoderm, dan endoderm. Di samping daerah primitif dan bakal notokorda. Lapisan lembaga di dalam keping embrio disebut lapisan lembaga intra embrio, sedangkan yang terdapat di luar keping embrio dinamakan lapisan lembaga ekstra embrio.



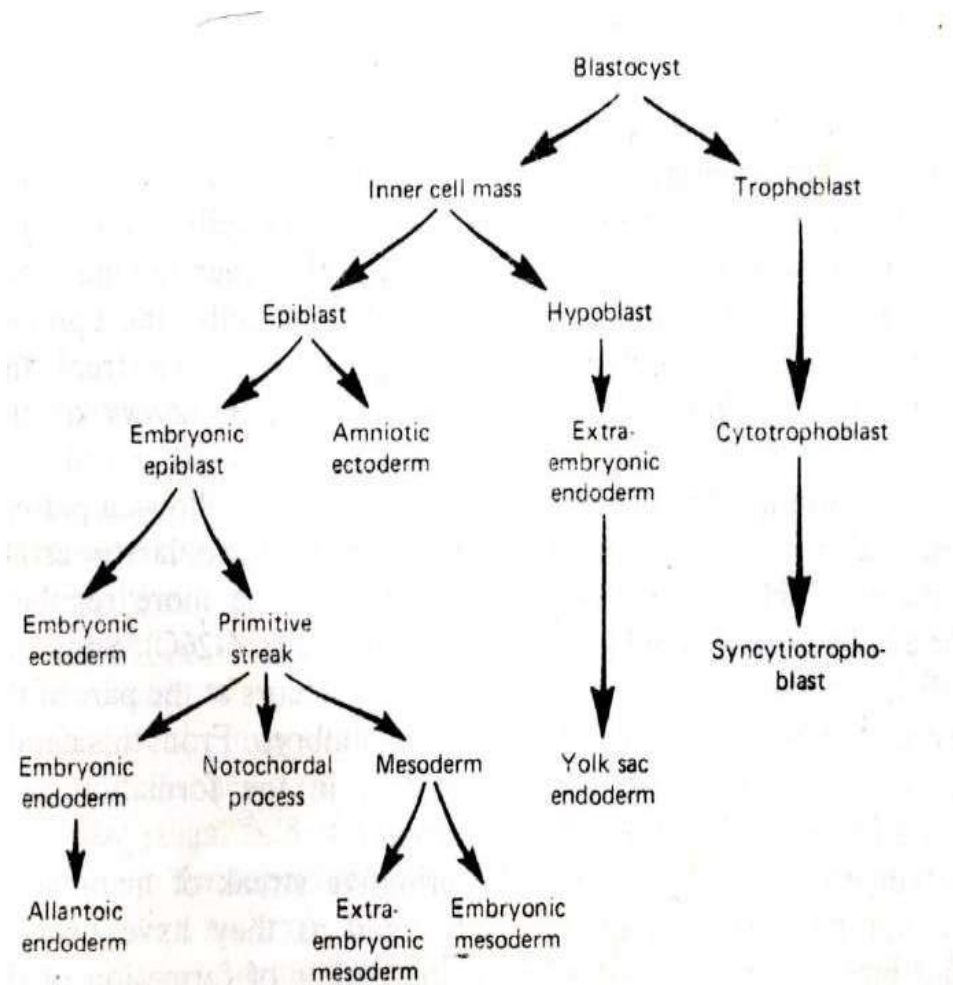
Gambar 8.21. Gastrulasi Embrio Mamalia Massa Sel-sel dalam Berhadapan dengan Blastocoel pada Pembentukan Embryonik Knob  
Sumber: Huettnner, 1957

Ada pendapat bahwa lapisan endoderm terbentuk dengan cara delaminasi. Pendapat lain menyebutkan bahwa lapisan endoderm berasal dari massa sel-sel dalam. Seperti diketahui bahwa keping embrio terdiri atas lapisan sel yang tebal yang disebut mesektoderm dan lapisan tipis yang disebut entoderm. Mesentoderem akan menjadi mesoderm dan ektoderm. Ektoderm adalah tropoblas yang merupakan lapisan terluar. Pembentukan mesoderm pada embrio mamalia sama

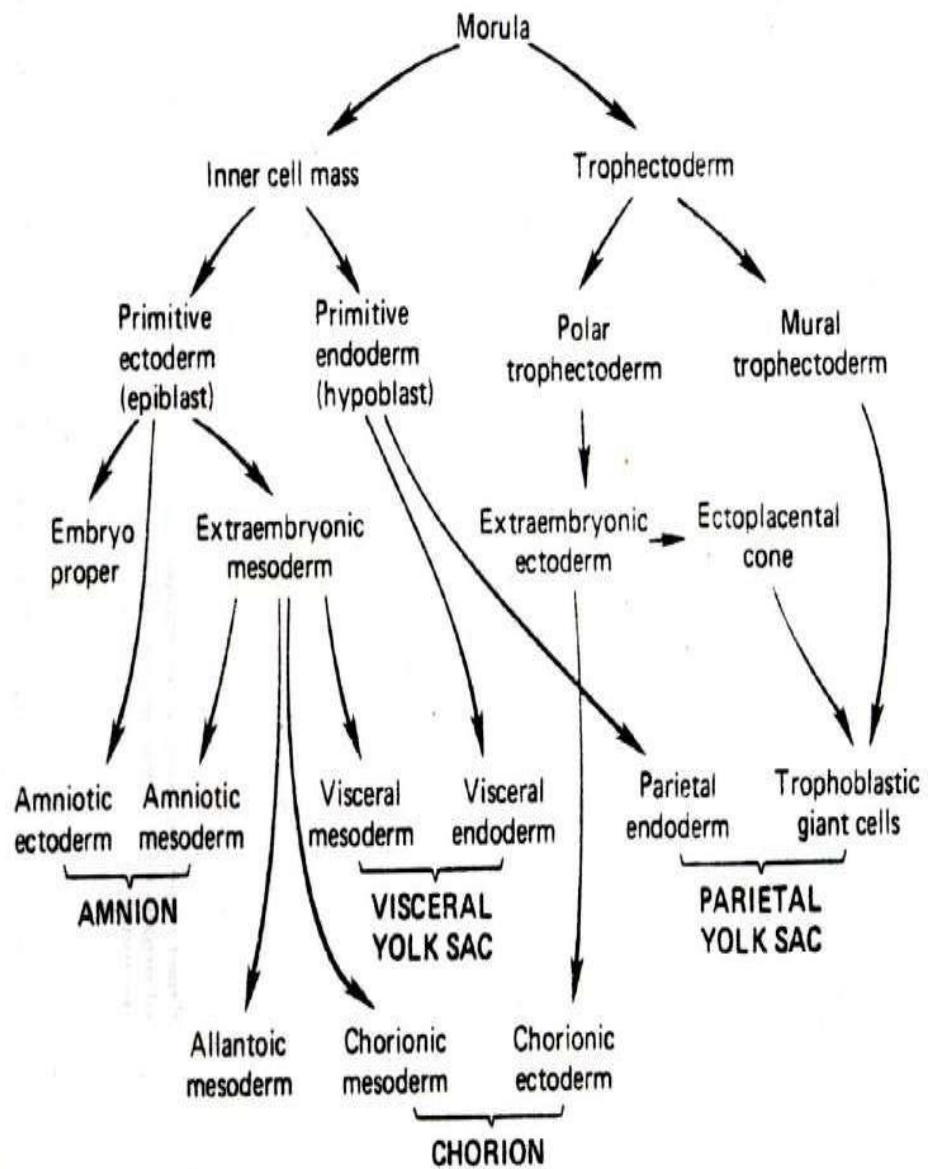


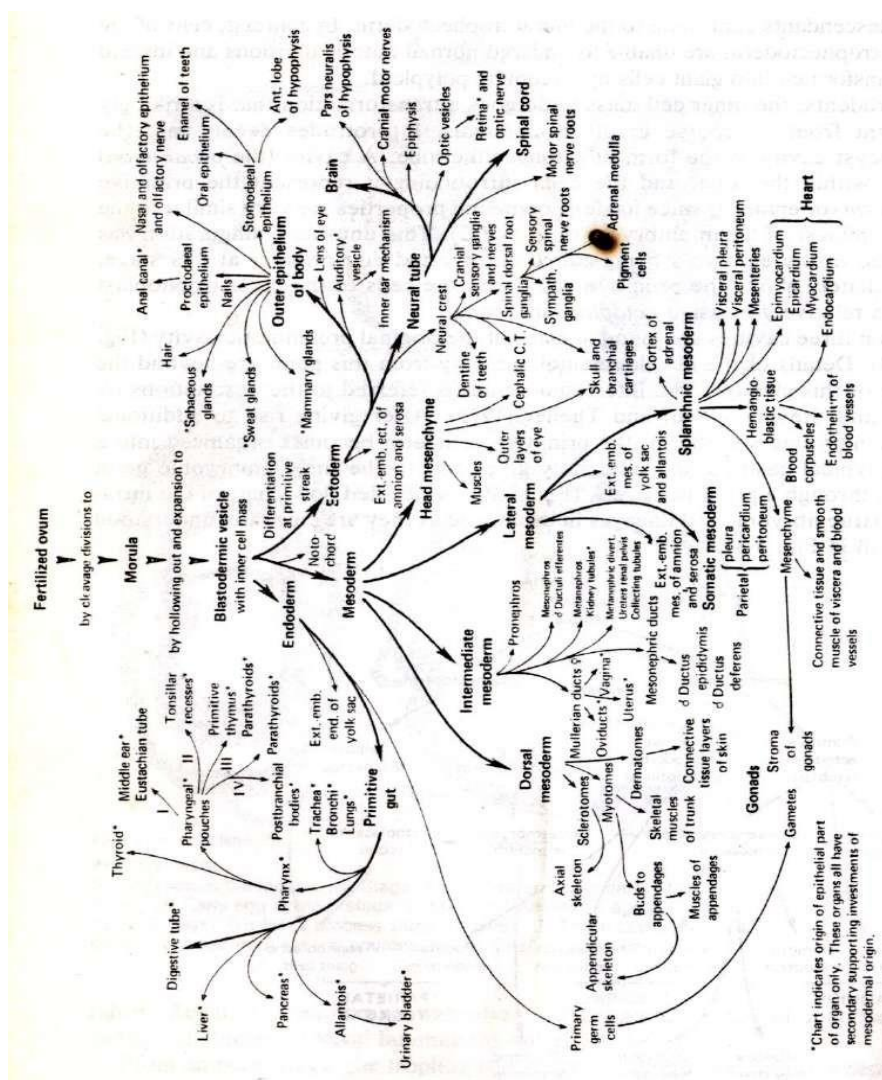
dengan pembentukan mesoderm pada embrio ayam.

Berbeda dengan aves, gastrulasi pada mamalia berlangsung di dalam uterus, sedangkan gastrulasi pada aves berlangsung di dalam telur. Embrio yang mencapai rongga uterus biasanya telah berada pada stadium blastula yang terdiri atas massa sel-sel dalam dan tropoblas, lalu menempel atau tertanam pada endometrium yang telah dipersiapkan sebelumnya. Pembahasan lebih lanjut akan diuraikan pada peristiwa implantasi.



Gambar 8.22 Skema Asal Jaringan Presomik Embrio Manusia dan Kera  
Sumber: Carlson, 1988





## Latihan

1. Jelaskan tujuan migrasi sel selama gastrulasi!
2. Tuliskan gerakan-gerakan morfogenik utama selamagastrulasi!
3. Jelaskan proses gastrulasi bintang laut!
4. Jelaskan proses gastrulasi katak!
5. Jelaskan proses gastrulasi aves!
6. Jelaskan proses gastrulasi mamalia!

# BAB IX

## IMPLANTASI DAN SELAPUT EKSTRA EMBRIO

---

Implantasi atau nidasi adalah menempelnya atau tertanamnya ovum yang sudah dibuahi pada dinding endometrium induk. Implantasi memerlukan penetrasi melalui epitel uterus disertai sedikit tanda nekrosis. Untuk memudahkan pemahaman dalam proses implantasi, keadaan rahim sebelum dan pada saat implantasi perlu diketahui.

### A. Rahim pada saat Implantasi

Dinding rahim terdiri atas tiga lapisan yaitu endometrium atau selaput lendir yang membatasi dinding bagian dalam, miometrium yang merupakan lapisan otot polos yang tebal, dan perimetrium yang melapisi dinding sebelah luarnya.

Implantasi berlangsung bila endometrium berada dalam fase sekresi. Kelenjar-kelenjar uterus mengandung glikoprotein dan glikogen. Pembuluh-pembuluh darah melebar, lamina propria sedikit membengkak dan endometrium menebal hingga mencapai ketebalan 5 mm. Keadaan tersebut di atas terjadi karena kegiatan progesteron yang dihasilkan oleh korpus luteum. Tanda pertama pengaruh progesteron ini dapat dikenal 2-3 hari setelah ovulasi. Pada saat itu kelenjar uterus dan pembuluh darah menjadi berkelok-kelok dan jaringan banyak mengandung cairan. Akibatnya pada endometrium dapat dikenali dengan adanya tiga lapisan yang berbeda, yaitu lapisan padat pada bagian permukaan luar, lapisan spongiosa di tengah, dan lapisan dasar yang tipis pada bagian dalam.

Apabila ovum dibuahi, kelenjar di dalam endometrium memperlihatkan peningkatan penggetahan dan pembuluh darah menjadi lebih berkelok-kelok serta membentuk jaringan pembuluh kapiler yang padat di bawah permukaan rahim. Akibatnya endometrium menjadi sangat sembab. Dalam keadaan normal blastokista manusia berimplantasi dalam endometrium sepanjang dinding posterior atau anterior badan rahim dimana ia terbenam di

antara muara-muara kelenjar selaput lendir rahim.

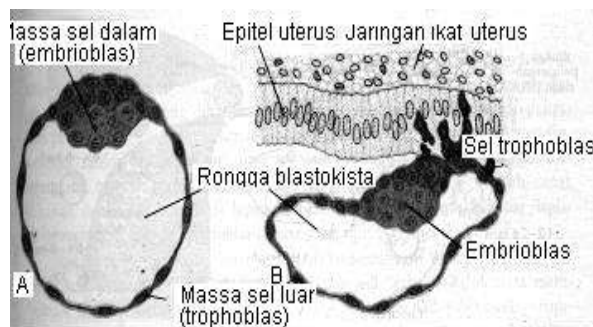
Apabila oosit tidak dibuahi, pembuluh balik kecil dan ruang-ruang sinusoid berangsur-angsur dipenuhi dengan sel-sel darah dan dapat terlihat suatu diapresiasi darah yang luas ke dalam jaringan. Ketika haid mulai berlangsung, darah keluar dari pembuluh di permukaan dan potongan-potongan kecil jaringan dan kelenjar dilepaskan. Selama tiga atau empat hari berikutnya, lapisan padat dan spongiosa dikeluarkan dari rahim dan lapisan dasar merupakan satu-satunya bagian selaput lendir rahim yang tertinggal. Lapisan ini mendapatkan darah dari nadinya sendiri, yaitu arteri basalis, dan berfungsi sebagai lapisan pemulihan dalam pembentukan kembali kelenjar dan pembuluh darah pada fase proliferasi berikutnya.

## **B. Tahap-Tahap Implantasi**

Implantasi bukan merupakan suatu kejadian tunggal, melainkan suatu proses yang berlangsung secara bertahap. Beberapa tahap implantasi yaitu:

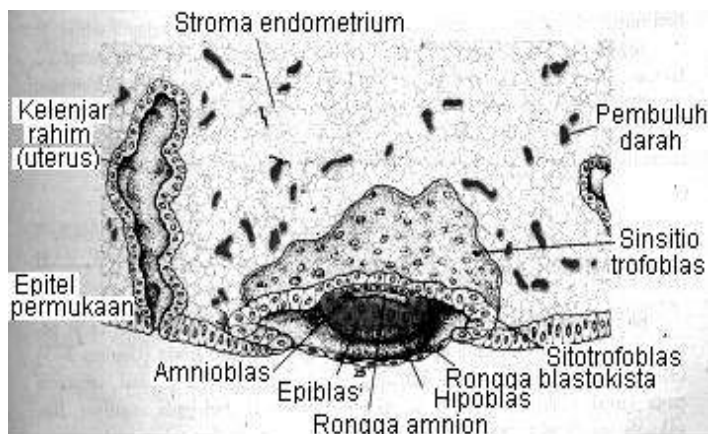
- 1) Menempelnya (adhesi) trophoblas ke dalam mukosa uterus.
- 2) Penetrasi trophoblas ke dalam mukosa uterus reaksi (respons aktif) jaringan induk (mukosa) atau reaksi desidua pada organisme yang memiliki plasenta desidua.
- 3) Proliferasi sel-sel jaringan uterus terhenti setelah mencapai kondisi optimal atau stabil (dikontrol oleh hormon progesteron dan korpus luteum).

Embrio, sebelum terimplantasi, zona pelusida mengalami lisis. Pada mencit waktunya 4,5 – 6 hari kehamilan, sedangkan pada manusia 6.5 – 14 hari kehamilan.



Gambar 9.1 Blastokista Manusia dalam Rongga Rahim 4,5 Hari Pembuahan  
Sumber: Sadler, 1988

Selama berlangsungnya implantasi, trophoblas berdiferensiasi menjadi dua lapisan, yaitu sinsitiotrofoblas atau sinsitium dan sitotrophoblas. Sinsitiotrofoblas merupakan lapisan luar yang berinti banyak tanpa batas sel yang jelas, sedangkan sitotrophoblas merupakan lapisan sel-sel berinti tunggal dan besar. Mitosis dijumpai pada daerah sitotrophoblas tetapi tidak pernah dijumpai di dalam sinsitium walaupun lapisan ini tetap bertambah tebal. Diduga lapisan sel-sel trophoblas yang membelah dalam sitotrophoblas kemudian berpindah ke dalam sinsitiotrofoblas dimana mereka bercampur dan kehilangan membran selnya. Sementara itu massa sel-sel dalam (*inner cell mass*) atau embrioblas juga berdiferensiasi menjadi dua lapisan, yaitu lapisan hipoblas yang berbentuk kuboid dan lapisan epiblas yang berbentuk kolumnar. Sel-sel dari setiap lapisan membentuk suatu cakram pipih dan secara bersama-sama disebut cakram mudigah bilaminar (gambar 9.2).

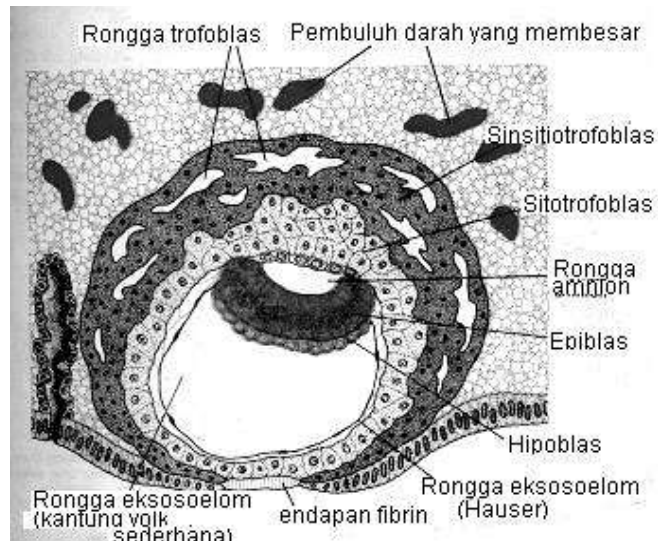


Gambar 9.2 Blastokista Manusia Umur 7.5 Hari, Sebagian Terbenam di dalam Stroma Endometrium Trophoblas Terdiri atas Sel-sel Berinti Tunggal  
Sumber: Sadler, 1988

Hari kesembilan, blastokista terbenam semakin dalam pada endometrium, dan cacat penembusan pada permukaan epitel ditutupi oleh endapan fibrin. Trophoblas berkembang semakin pesat dan pada daerah sinsitium terbentuk vakuola-vakuola. Bila vakuola-vakuola tersebut bersatu, maka akan terbentuk rongga yang besar yang disebut rongga trophoblas. Stadium ini dikenal dengan nama stadium *lacunar*. Sementara itu, pada kutub embrional, sel-sel gepeng yang mungkin berasal dari hipoblas membentuk suatu selaput tipis yang disebut

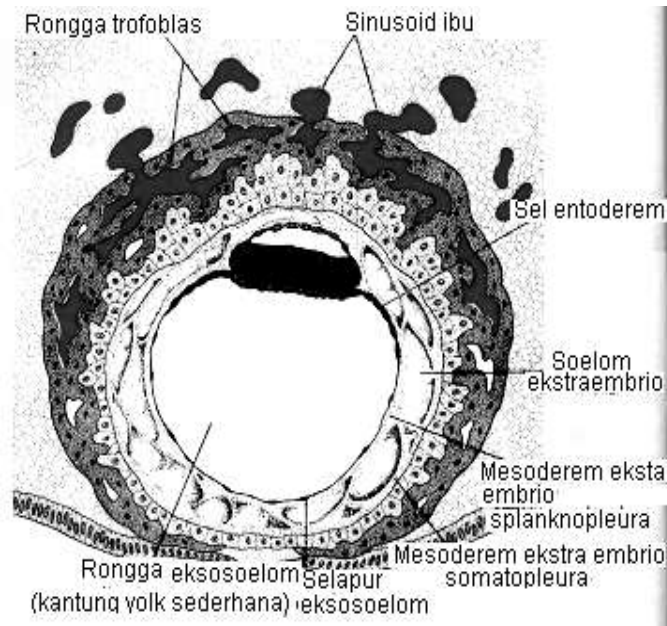


eksoselom atau selaput Heuser yang membatasi lapisan dalam sitotrofoblas. Selaput ini bersama dengan hipoblas membentuk dinding rongga eksoselom atau kantung kuning telur primitif (gambar 9.3).



Gambar 9.3 Blastokista Manusia Umur 9 Hari Sinsitiotrofoblas Memperlihatkan Sejumlah Rongga Besar atau *Lacunae*  
Sumber: Sadler, 1988

Perkembangan hari kesebelas hingga kedua belas, blastokista seluruhnya telah terbenam ke dalam stroma endometrium, dan epitel permukaan menutupi hampir seluruh cacat pada dinding rahim. Kini blastokista agak menonjol ke dalam rahim. Trophoblas ditandai dengan adanya rongga-rongga di dalam sinsitium dan membentuk suatu jalinan yang saling berhubungan. Hal ini khusus terjadi pada kutub embrional. Waktu yang bersamaan, sel-sel sinsitium menembus lebih jauh ke dalam stroma dan merusak lapisan endotel pembuluh kapiler ibu. Kapiler-kapiler tersebut tersumbat dan melebar dan dikenal sebagai sinusoid. Rongga-rongga di dalam sinsitium kemudian berhubungan dengan sinusoid, dan darah ibu memasuki susunan lacuna. Sementara trophoblas terus merusak, semakin banyak darah ibu di dalam sinusoid dan mulai memasuki trophoblas, sehingga terbentuklah sirkulasi utero-plasenta (gambar 9.4).

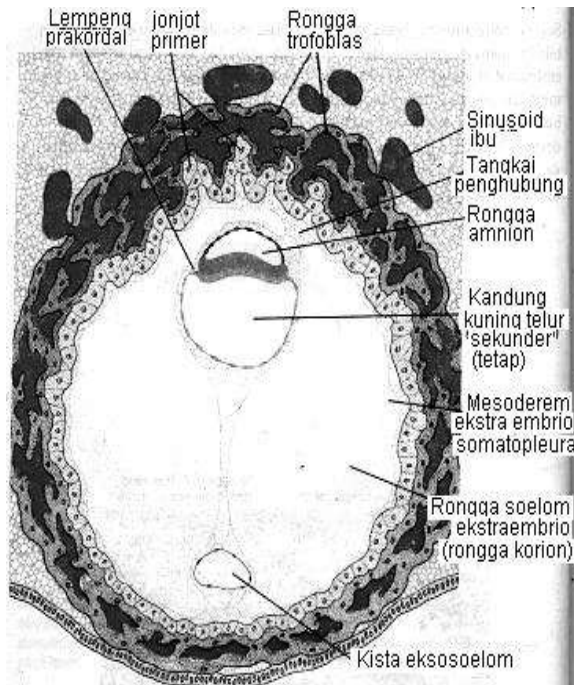


Gambar 9.4 Blastokista Manusia Umur 12 Hari Rongga Trofoblas pada Kutub Embrio Berhubungan dengan sinusoid Ibu Di Dalam Stroma Endometrium, Mesoderm Ekstra Embrio Bertambah Banyak dan Mengisi Ruang Antara Selaput Eksoselom dan Bagian dalam Trofoblas

Sumber: Sadler, 1988

Sementara itu, sekelompok sel-sel baru muncul di antara permukaan dalam sitotrophoblas dan permukaan luar rongga eksoselom. Sel-sel tersebut berasal dari trofoblas dan membentuk jaringan yang disebut mesoderm ekstra embrio dan mengisi semua ruang di antara trofoblas sebelah luar dan amnion serta selaput eksoselom di sebelah dalam.

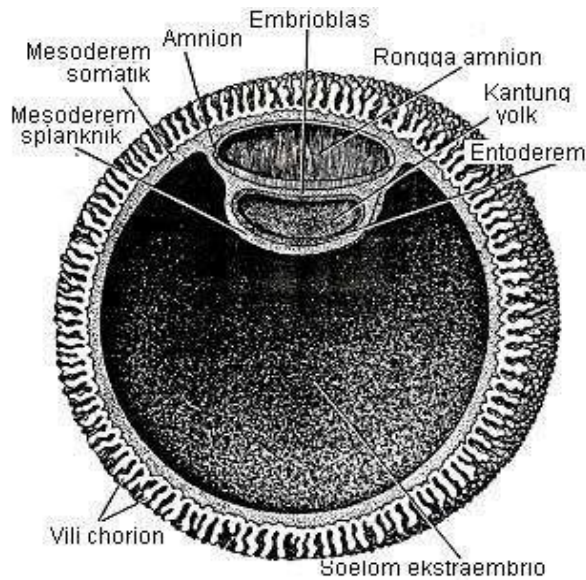
Selanjutnya rongga-rongga besar di dalam mesoderm ekstraembrio terbentuk dan menyatu membentuk suatu rongga baru yang disebut soelom ekstra embrio. Rongga tersebut mengelilingi kantung kuning telur primitif dan rongga amnion kecuali pada tempat dimana cakram mudigah berhubungan dengan trofoblas melalui tangkai penghubung. mesoderm ekstra embrio yang membatasi sitotrophoblas dan amnion disebut somatopleura, dan yang menutupi kantung kuning telur disebut *splanchnopleura*.



Gambar 9.5 Blastokista Manusia Umur 13 Hari Rongga Trofoblas Sekarang Berada pada Kutub Embrional dan Ab Embrional dan Terbentuk Peredaran Darah Utero-Plasenta

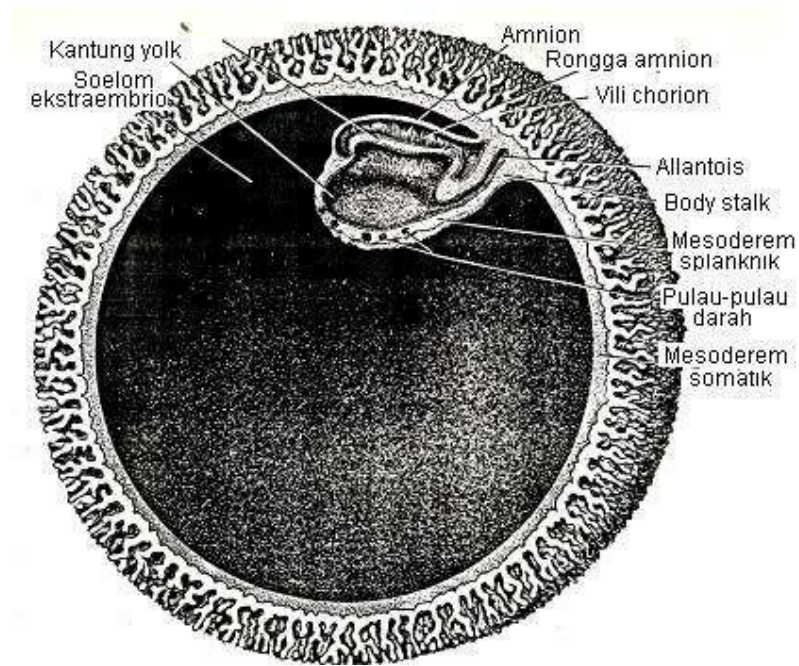
Sumber: Sadler, 1988

Seiring dengan kejadian di atas, sel-sel endometrium menjadi polyhedral dan banyak mengandung glikogen dan lemak. Ruang interseluler terisi dengan cairan dan jaringan menjadi sembab. Perubahan ini dikenal dengan nama *reaksi desidua* dan hasil perubahannya dinamakan desidua. Mula-mula terbatas pada daerah di sekeliling tempat implantasi, tetapi segera meluas ke seluruh endometrium. Desidua terdiri atas tiga daerah yang berbeda, yaitu (i) desidua basalis, terletak di antara embrio dengan miometrium, (ii) desidua kapsularis, yaitu desidua di antara embrio dengan lumen uterus, dan (iii) desidua parietalis, yang merupakan sisa dari kedua desidua lainnya. Desidua berperan membantu partus, sumber nutrisi, dan proteksi. Menghambat adanya reaksi penolakan oleh induk atau reaksi inkompatibilitas dan menghasilkan hormon prolaktin.



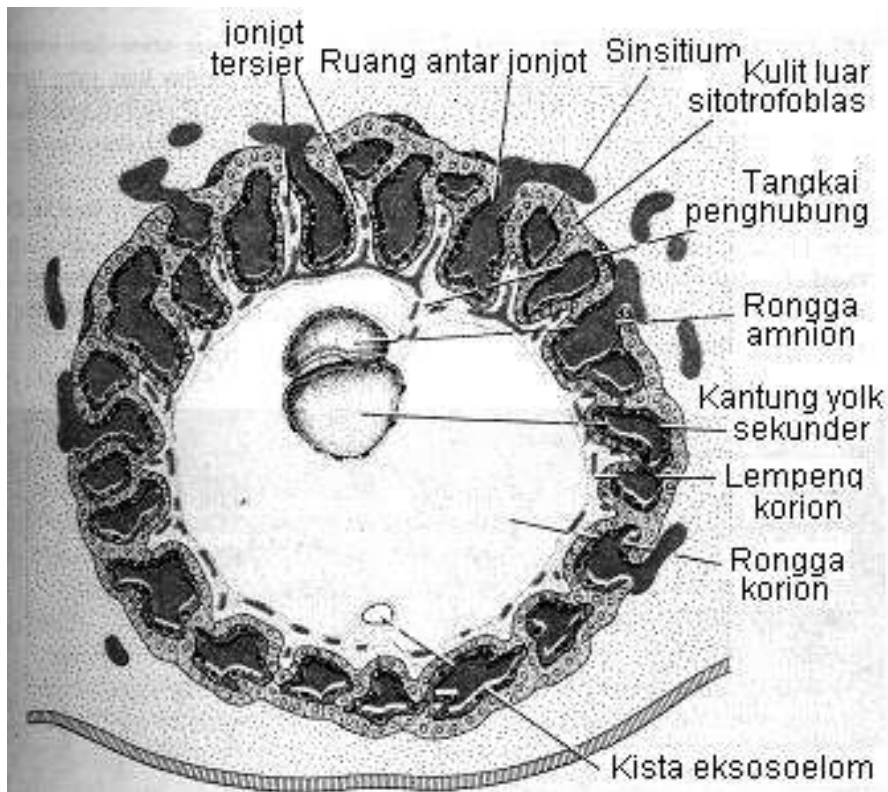
Gambar 9.6 Stereogram Blastokista Manusia Umur 14-15 Hari (Huettnner, 1957)

Menjelang perkembangan hari ketiga belas, cacat permukaan endometrium semakin sembuh, akan tetapi kadang-kadang terjadi perdarahan pada tempat implantasi sebagai akibat meningkatnya aliran darah ke dalam rongga-rongga trophoblas dan ini biasanya terjadi pada hari ke 28 daur haid sehingga terkadang disangka sebagai darah haid. Saat sinsitiotrofoblas ditandai dengan penampakan pertama susunan jonjot, sel-sel trophoblas bertambah banyak secara lokal dan menembus ke dalam sinsitiotrofoblas sehinggamembentuk kelompok sel yang dikelilingi sinsitium. Kelompok sel tersebut dinamakan jonjot-jonjot primer.



Gambar 9.7 Stereogram Blastokista Manusia Umur 20-22 Hari  
Sumber: Huettner, 1957

Sementara itu lapisan endoderm menghasilkan sel tambahan yang berpindah sepanjang selaput eksoselom bagian dalam dan secara berangsur-angsur membentuk rongga baru di dalam rongga eksoselom dan disebut sebagai kandung kuning telur sekunder. Selama pembentukannya, sebagian besar rongga eksoselom terdesak dan bagian tersebut dinamakan kista eksoselom yang sering dijumpai di dalam rongga korion.



Gambar 9.8 Blastokista Manusia Akhir Minggu Ketiga  
Sumber: Sadler, 1988

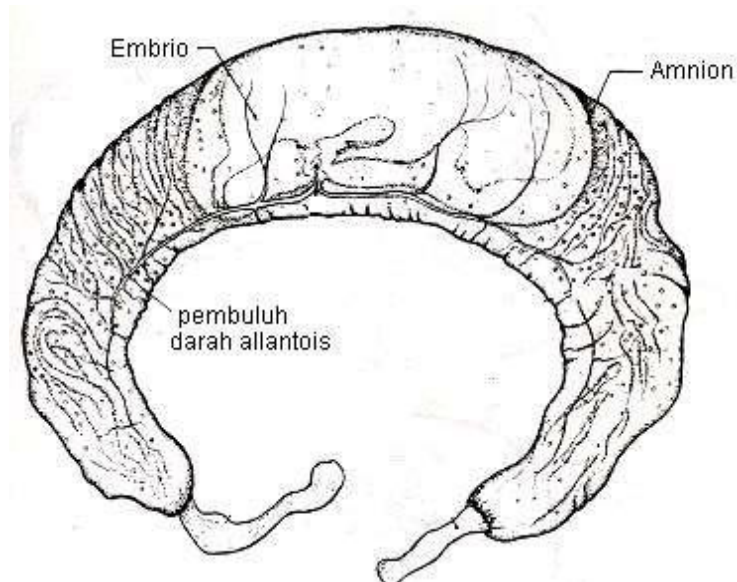
### C. Tipe-Tipe Implantasi

Tipe-tipe implantasi pada berbagai jenis hewan cukup bervariasi, namun secara umum dikenal tiga macam tipe implantasi, yaitu implantasi superficial, implantasi eksentrik, dan implantasi interstisial.

#### 1. Implantasi Superfisial

Implant atau blastokista hanya menempel pada dinding uterus, namun demikian tetap berlangsung adhesi epitel chorion pada epitel uterus. Tipe implantasi ini, embrio tetap berada di dalam lumen uterus, jadi kurang kuat. Biasanya dijumpai pada hewan-hewan non desidua.

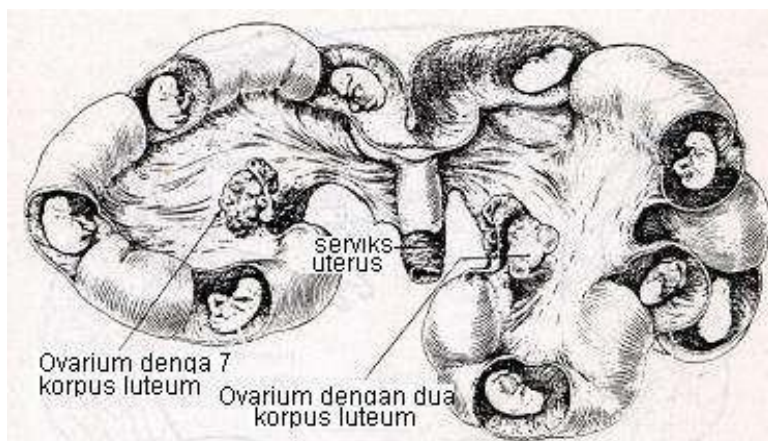




Gambar 9.9 Implantasi Tipe Superficial  
Sumber: Carlson, 1988

## 2. Implantasi Eksentrik

Tipe implantasi ini, implant tertanam pada salah satu sisi uterus, namun sebagian permukaan *implant* tetap menonjol ke dalam lumen uterus.



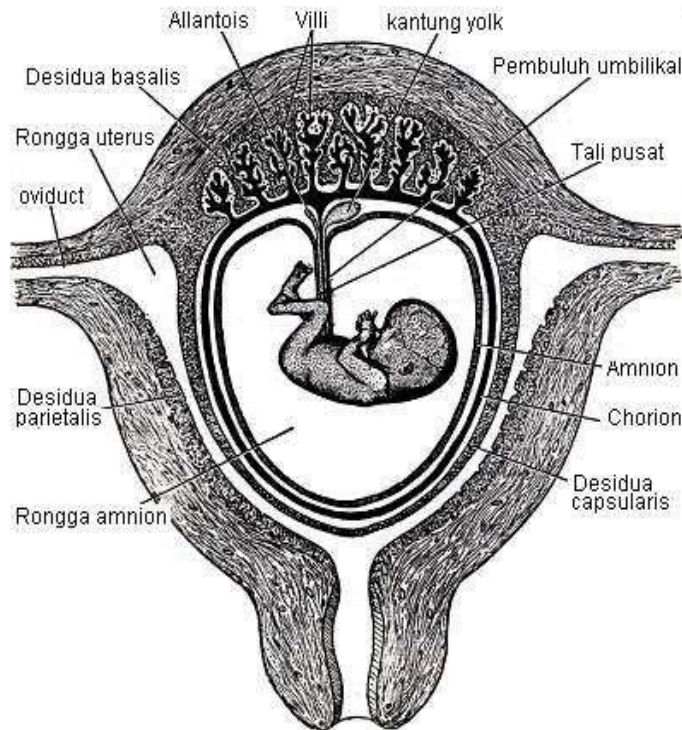
Gambar 9.10 Implantasi Tipe Eksentrik  
Sumber: Carlson, 1988

## 3. Implantasi Interstisial

Tipe implantasi ini, embrio tertanam dengan sangat kokoh, lumen uterus makin lama makin mengecil, epitel uterus dan trophoblas



berikatan dengan sangat erat dan embrio terbungkus oleh desidua.



Gambar 9.11 Tipe Implantasi Interstitial  
Sumber: Huettner, 1957

Gambar di atas menunjukkan bahwa implantasi yang berlangsung pada berbagai jenis hewan ada yang sifatnya *non invasive* dan ada yang *invasive*.

**Tabel 9.1 Tipe-Tipe Implantasi pada Berbagai Jenis Hewan**

Invasif		Tipe Plasenta	
Spesies	Tipe Implantasi	Bentuk	Histologi
Manusia	Interstitial	Diskoidal	Hemomonochorialis
Kelinci	Eksentrik	Diskoidal	Hemodichorialis
Tikus/Mencit	Eksentrik	Diskoidal	Hemodichorialis
Kera rhesus	Eksentrik	Bidiskoidal	Hemomonochorialis
Anjing	Eksentrik	Zonari	Endotelochorialis
Kucing	Eksentrik	Zonari	Endotelochorialis
Non invasive		Tipe Plasenta	
Spesies	Tipe Implantasi	Bentuk	Histologi
Kambing	Superfisial	Kotiledonaria	Epitelochorialis

Invasif		Tipe Plasenta	
Spesies	Tipe Implantasi	Bentuk	Histologi
Babi	Superfisial	Diffusa	Sindesmochorialis
Sapi	Superfisial	Kotiledonaria	Sindesmochorialis
Kuda	Superfisial	Diffusa	Epitelochorialis

#### D. Selaput Ekstra Embrio

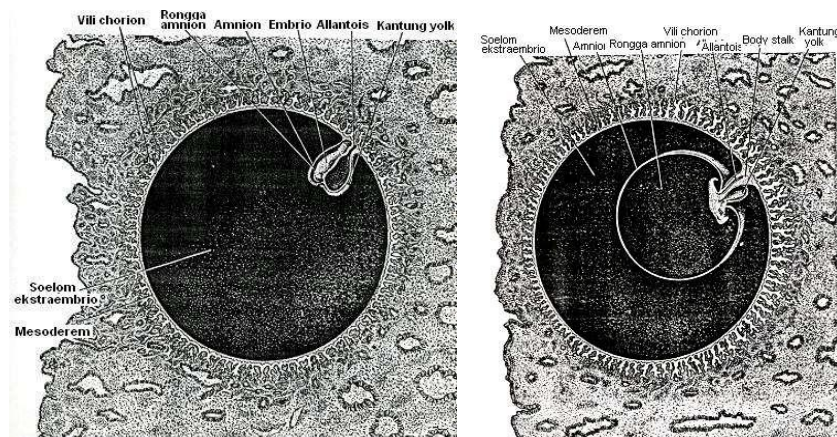
Salah satu adaptasi yang terjadi di dalam evolusi yang sangat penting bagi kehidupan vertebrata di darat adalah terbentuknya suatu cara agar embrio selalu berada dalam keadaan basah. Hal ini mulai terjadi ketika reptilian pertama meletakkan telurnya di darat dan telur-telur tersebut dapat berkembang dengan baik. Keberhasilan ini dapat terjadi karena telur diselubungi oleh cangkang dan berbagai selaput yang menyelubungi tubuh embrio. Selaput-selaput ini awalnya berasal dari tubuh embrio itu sendiri dan melakukan fungsi yang vital seperti dalam nutrisi, pertukaran gas, dan pembuangan atau penyimpanan bahan-bahan buangan. Selain itu juga menjaga agar embrio berada dalam lingkungan yang basah seperti halnya pada hewan-hewan pendahulunya. Beberapa reptilian dan mamalia tidak membentuk cangkang tetapi menggantinya dengan perkembangan intra uterus yang lebih baik. Walaupun demikian bentuk dan fungsi dasar selaput ekstra embrio tetap dipertahankan. Ada empat macam, selaput ekstra embrio yang umum terdapat pada embrio vertebrata tinggi, yaitu kantung amnion, kantung yolk, kantung chorion, dan kantung alantois.

##### 1. Kantung Yolk

Kantung yolk adalah selaput *spanknopleura*, sangat erat fungsinya dalam nutrisi embrio khususnya kelompok reptilian dan burung karena mempunyai yolk yang sangat banyak. Walaupun telur-telur mamalia tidak mempunyai yolk atau sangat sedikit, namun kantung yolk masih dipertahankan dan digunakan untuk fungsi-fungsi vital lainnya. Endoderm kantung yolk merupakan sumber bakal sel kelamin, sedangkan mesoderm kantung yolk merupakan sumber sel-sel darah.

Kantung yolk berfungsi untuk membungkus kuning telur pada telur megalechital dan mamalia bertelur (megatromata), tempat berjalannya pembuluh darah vitelin untuk menyerap yolk. Endoderm kantung yolk mengandung enzim yang berfungsi untuk mencerna yolk yang dibutuhkan oleh embrio selama tahap perkembangannya.

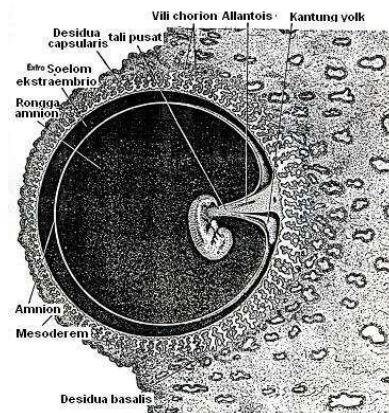
Kantung yolk tersusun atas *splanchnopleura*, dimana endoderm terletak pada bagian dalam dan mesoderm splanchnik terletak di sebelah luar. Setelah yolk habis terserap, kantung yolk mengecil. Kantung yolk pada monotremata, hanya sebagai tempat berjalannya pembuluh darah.



A

B

Gambar 9.12 Perkembangan Selaput Ekstra Embrio pada Manusia (A) Umur 25 Hari, (B) Umur 29 Hari  
Sumber: Huettner, 1957



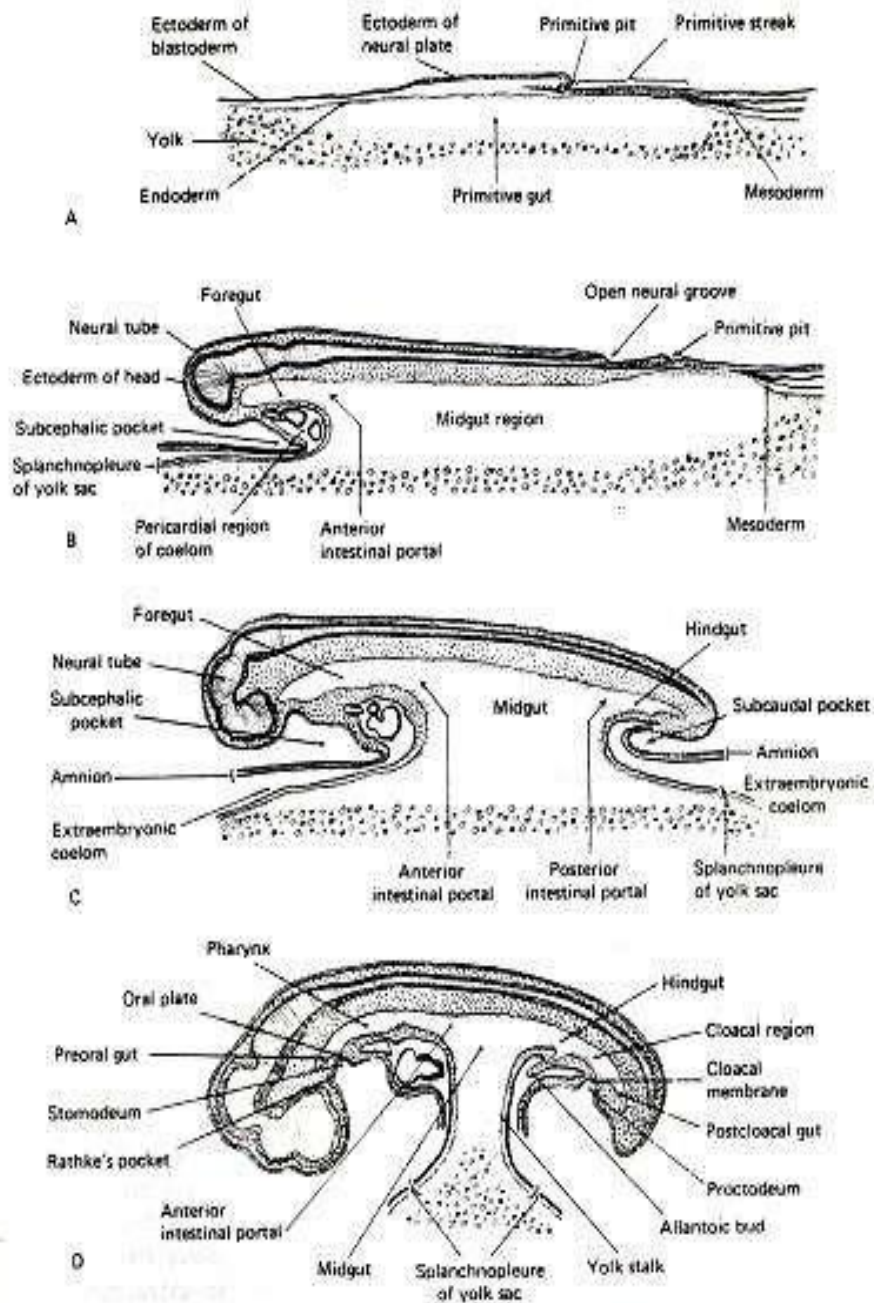
Gambar 9.13 Perkembangan Selaput Ekstra Embrio pada Manusia pada Umur 33 Hari Setelah Implantasi  
Sumber: Huettner, 1957

Awal perkembangan embrio ayam menunjukkan bahwa *splanchnopleura* dan somatopleura meluas ke luar dari tubuh embrio hingga di atas yolk. Daerah di luar tubuh embrio dinamakan daerah ekstraembrio. Mula-mula tubuh embrio ayam tidak mempunyai batas sehingga lapisan-lapisan ekstra embrio dan intra embrio saling berkelanjutan. Dengan terbentuknya tubuh embrio, secara berurutan dibentuk lipatan-lipatan tubuh sehingga tubuh embrio hampir terpisah dari yolk. Adanya lipatan-lipatan tubuh, maka batas antara daerah intradan ekstra embrio menjadi semakin jelas.

Daerah kepala embrio mengalami pelipatan yang disebut dengan lipatan kepala dan memisahkan antara bagian intra dan ekstra embrio. Lipatan kepala membentuk kantung sub sephal. Bagian lateral tubuh juga terbentuk lipatan tubuh lateral dan memisahkan bagian ekstra dan intra embrio. Bagian posterior mengalami pelipatan dan dikenal dengan nama lipatan ekor membentuk kantung sub kaudal. Lipatan-lipatan tersebut membentuk dinding saluran pencernaan primitive. Bagian tengah usus tengah yang menghadap yolk tetap terbuka dan pada daerah ini, dinding kantung yolk berhubungan dengan dinding usus pada kantung yolk. Walaupun kantung yolk berhubungan dengan usus melalui tangkai yolk, namun makanan tidak diambil embrio melalui tangkai yolk.

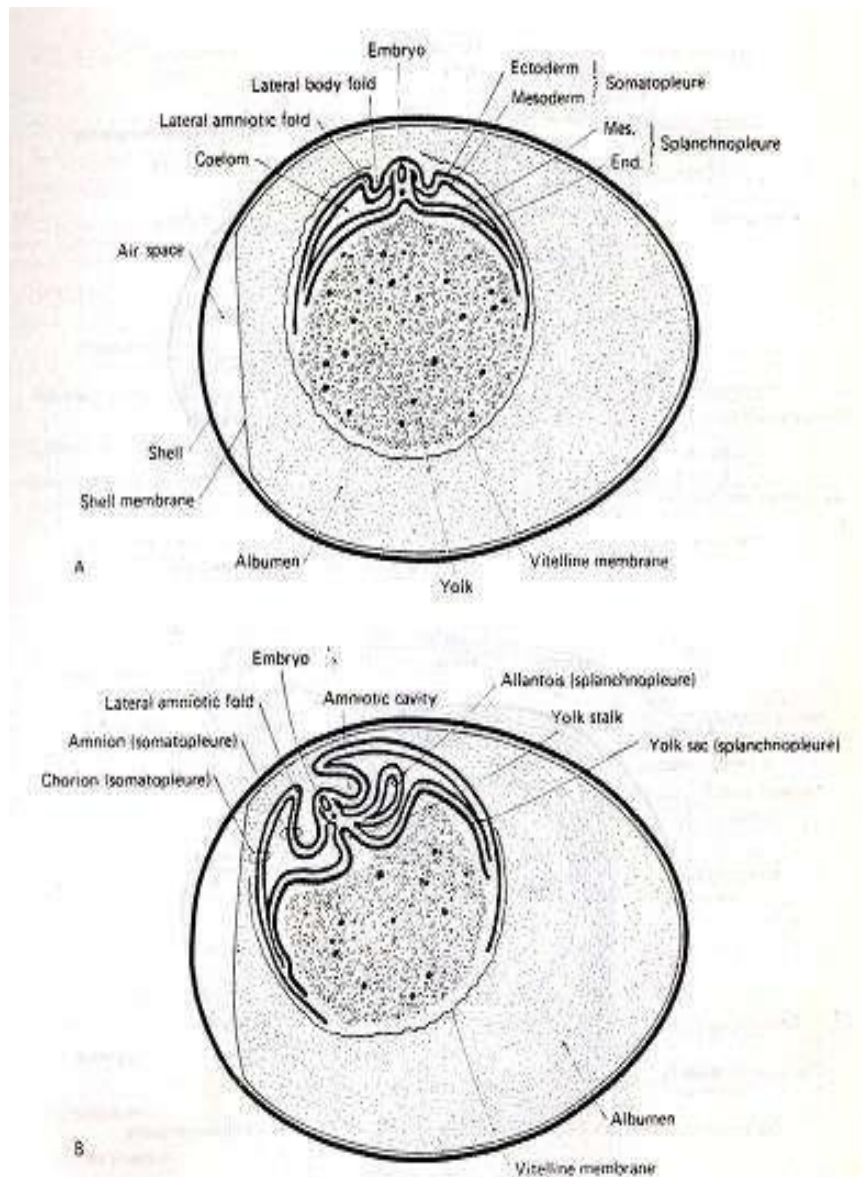
Lapisan endoderm kantung yolk, dijumpai sejumlah lipatan-lipatan yang memasuki yolk. Dengan bantuan enzim-enzim pencernaan, yolk yang telah dicerna diserap dan dialirkan ke embrio oleh vena vitelin, vena omphalomesenterica yang terdapat pada tangkai yolk. Selama perkembangan embrio, albumen akan kehilangan cairan sehingga menjadi kental dan volumenya berkurang. Dengan tumbuhnya alantois, albumen terdorong ke ujung distal kantung yolk. Albumen dikelilingi oleh perpanjangan *splanchnopleura* kantung yolk yang mengabsorpsi serta mentransfernya melalui sirkulasi ekstra embrio ke dalam tubuh embrio.

Menjelang akhir masa inkubasi, sisa yolk beserta kantung yolk masuk ke dalam rongga perut dan selanjutnya dinding perut menutup. Sisa yolk sangat penting bagi anak ayam yang baru menetas. Sisa yolk akan digunakan oleh anak ayam sebagai persediaan makanan selama awal masa kehidupannya di luar telur.



Gambar 9.14 Pembentukan Saluran Pencernaan Makanan pada Ayam dan Hubungannya dengan Pembentukan Kantung Yolk  
Sumber: Carlson, 1988



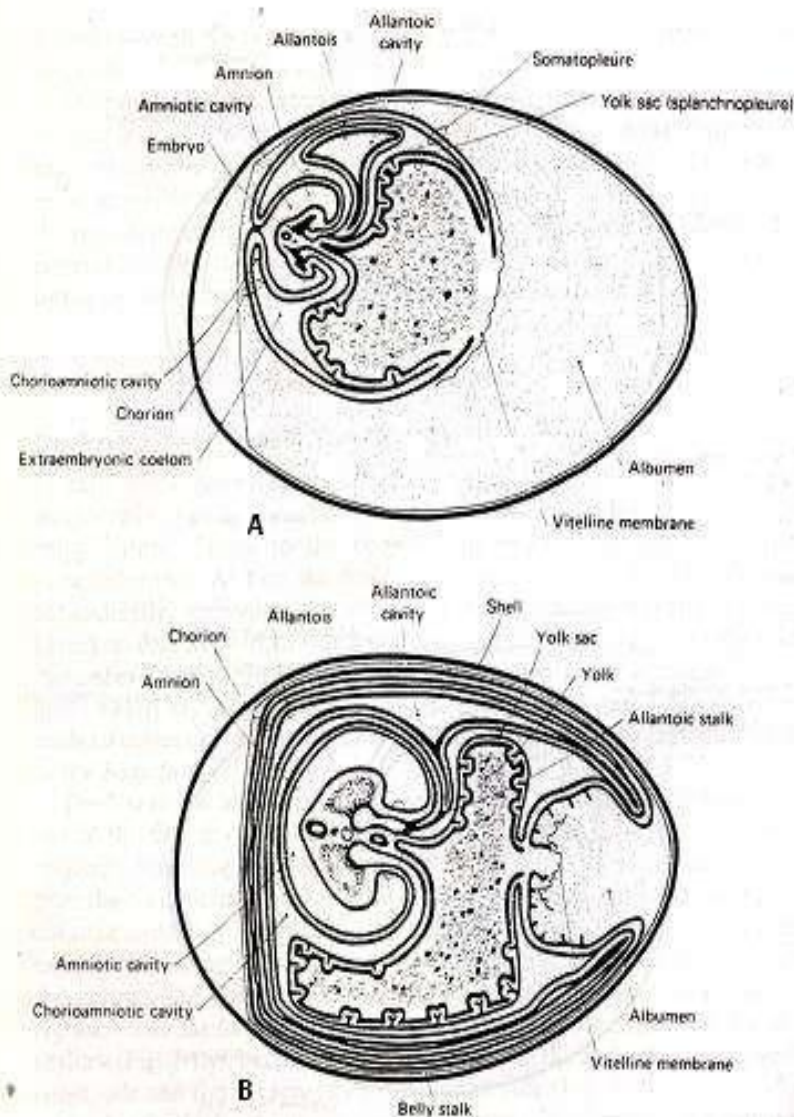


Gambar 9.15 Sayatan Longitudinal Pembentukan Selaput Ekstra Embrio pada Ayam (A) Umur 2 Hari Inkubasi, (B) Umur 3 Hari Inkubasi  
Sumber: Carlson, 1988

## 2. Kantong Amnion

Kantong amnion adalah suatu membran tipis yang berasal dari somatopleura berbentuk suatu kantung yang menyelubungi embrio dan berisi cairan. Keberadaan selaput ini sangat khas pada reptilia, burung, dan mamalia sehingga kelompok hewan ini sering disebut

sebagai kelompok amniota, sedangkan ikan dan amphibian tidak memiliki amnion dan disebut sebagai kelompok anamniota.



Gambar 9.16 Sayatan Longitudinal Pembentukan Selaput Ekstra Embrio pada Ayam Umur 5 Hari Inkubasi, (B) Umur 14 Hari Inkubasi  
Sumber: Carlson, 1988

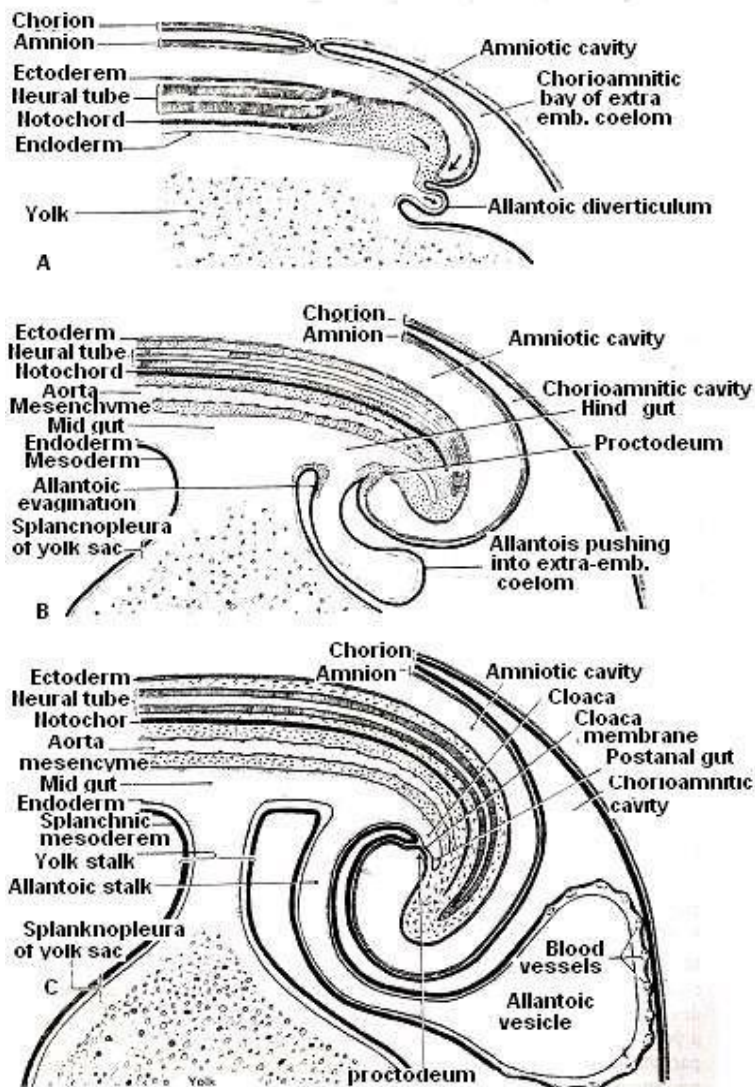
Amnion berfungsi sebagai pelindung embrio terhadap kekeringan, penawar guncangan, pengaturan suhu intrauterus, dan anti adhesi. Lapisan penyusunnya adalah somatopleura yang tersusun atas ektoderm di dalam dan mesoderm somatik di luar. Kantung amnion robek pada saat partus atau menetas.



### 3. Kantung Alantois

Alantois merupakan suatu kantung yang terbentuk sebagai hasil evaginasi bagian ventral usus belakang pada tahap awal perkembangan. Fungsi utama alantois adalah sebagai tempat penampungan dan penyimpanan urine dan sebagai organ pertukaran gas antara embrio dengan lingkungan luarnya. Alantois pada burung, bersama-sama dengan chorion berperan dalam respirasi melalui pembuluh darah alantois, juga berperan dalam penyerapan kalsium sehingga cangkang kapur menjadi rapuh, dan hal ini memudahkan penetasan. Selain itu pada reptil dan burung, kantung alantois sangat besar karena telur merupakan suatu sistem yang tertutup, maka alantois harus memisahkan sisa-sisa metabolisme nitrogen agar tidak menimbulkan efek toksik terhadap embrio. Peran alantois pada mamalia, erat hubungannya dengan efisiensi pertukaran yang berlangsung pada perbatasan fetus-ibu. Alantois embrio babi memiliki ukuran dan fungsi yang sama seperti pada burung, dan hanya berperan sebagai tempat lalunya pembuluh darah ke plasenta.

Lapisan penyusun kantung alantois sama dengan kantung yolk, yaitu *splanchnopleura* yang terdiri atas endoderm di dalam dan mesoderm splanchnik di luar. Nasib dari kantung yolk adalah tertinggal di dalam cangkang telur kecuali pada beberapa hewan. Pangkal alantois menjadi vesikula urinaria. Alantois pada mamalia, umumnya tidak berupa kantung, kecuali yang berkembang adalah mesoderm splanchnik bersama-sama dengan chorion membentuk plasenta. Beberapa hewan dengan plasenta sederhana, misalnya babi, alantois splanchnik bersama-sama dengan chorion membentuk plasenta. Beberapa hewan dengan plasenta sederhana, misalnya babi, alantois



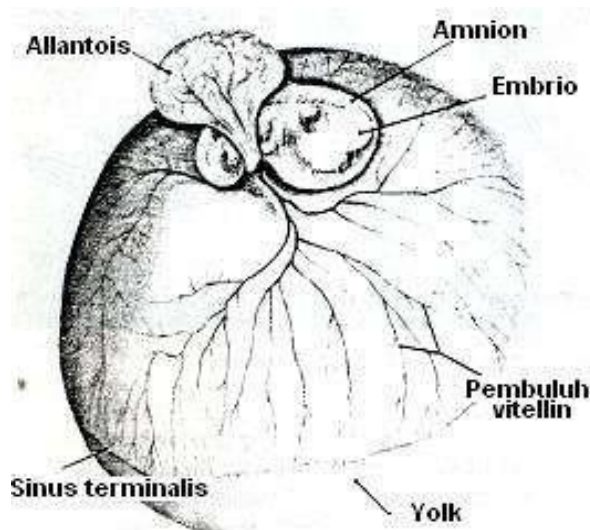
Gambar 9.17. Pembentukan Kantung Alantois pada Ayam  
Sumber: Carlson, 1988

#### 4. Chorion

Membran ekstra embrio yang paling luar dan yang berbatasan dengan cangkang atau jaringan induk, merupakan tempat pertukaran antara embrio dan lingkungan di sekitarnya adalah chorion atau serosa. Pada hewan-hewan ovivar, fungsi chorion terutama untuk pertukaran gas atau respirasi. Pada mamalia, chorion bukan hanya berperan sebagai pembungkus, tetapi juga berperan untuk nutrisi,

ekskresi, filtrasi, dan sistem hormon.

Chorion pada mamalia, berasal dari trophoblas dan bersama-sama dengan alantois turut dalam pembentukan plasenta bersama dengan endometrium induk. Chorion pada aves, terletak di bawah cangkang dan bersama-sama dengan alantois berperan untuk respirasi.



Gambar 9.18. Chorion pada Ayam  
Sumber: Carlson, 1988

## E. Plasenta

Setelah embrio tiba di uterus, berlangsung suatu asosiasi antara embrio melalui selaput ekstraembrionya dengan jaringan endometrium uterus membentuk suatu organ yang dikenal dengan nama plasenta. Jadi plasenta adalah suatu struktur yang dibentuk melalui pertautan antara selaput-selaput ekstra embrio dengan endometrium untuk keperluan pertukaran fisiologis. Secara struktural plasenta terdiri atas dua bagian, yaitu (i) plasenta fetal yang dibangun oleh selaput ekstra embrio dan (ii) plasenta maternal, yaitu yang dibangun oleh endometrium uterus.

Mengingat banyaknya macam plasenta pada berbagai jenis hewan, maka penggolongannya dapat dilakukan berdasarkan banyak kriteria, yaitu:

- a. Berdasarkan macam selaput ekstra embrio yang bertautan dengan jaringan induk.

- b. Berdasarkan bentuk penyebaran vili chorio alantois.
- c. Berdasarkan kokoh tidaknya pertautan antara jaringan embrio dengan jaringan induk.
- d. Berdasarkan struktur histologi pertautan antara jaringan embriodengan jaringan induk

### **1. Berdasarkan Macam Selaput Ekstra Embrio yang Bertautan**

Bagian selaput ekstra embrio yang dapat berhubungan secara langsung dengan endometrium uterus induk adalah jaringan ekstraembrio yang paling luar. Chorion pada ayam, merupakan selaput ekstra embrio yang paling luar dan menggunakan peredaran darah dari alantois. Pada mamalia terdapat dua kemungkinan vaskularisasi, yaitudari kantung yolk dan alantois. Bila plasenta fetal mendapatkan aliran darah dari kantung yolk, maka plasentanya dikelompokkan sebagai **plasenta choriovitellin** atau **plasenta kantung yolk**. Bila chorion mendapatkan aliran darah dari alantois, maka plasentanya dikelompokkan sebagai **plasenta chorioallantois**.

Alantois dan chorion pada babi bersatu, maka terbentuk peredaran darah chorioallantois seperti yang terjadi pada ayam, hanyadi sini tidak berhubungan dengan cangkang, melainkan dengan endometrium uterus.

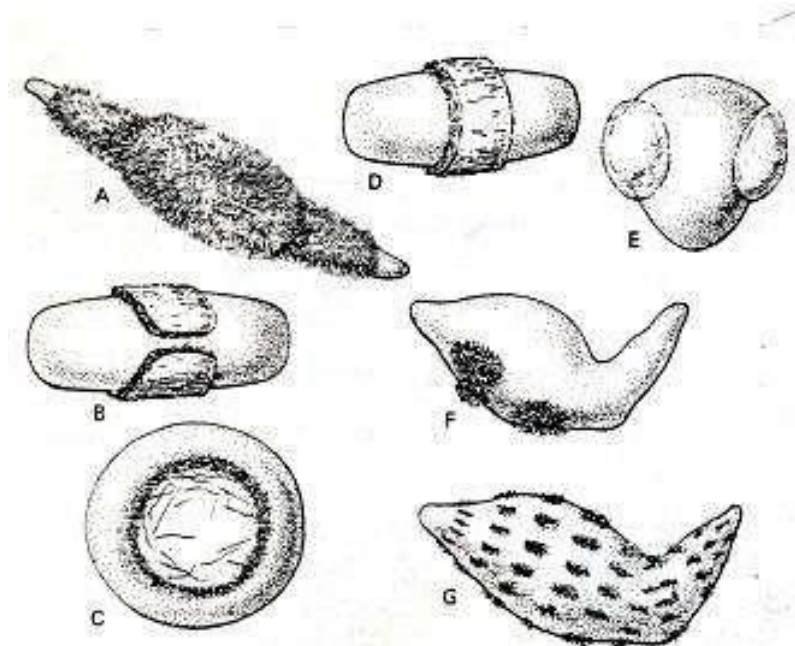
Saat kantung alantois sedang dalam pertumbuhan, pada permukaannya terbentuk beberapa tonjolan atau vili yang dapat masuk ke dalam lipatan-lipatan endometrium, akibatnya kedua komponen plasenta berhubungan lebih erat. Plasenta fetal mempunyai hubungan pembuluh darah dengan kantung alantois yang berhubungan dengan embrio dan pembuluh darah induk berada pada plasenta induk. Akibatnya terbentuklah peredaran darah antara fetus dan induk. Perlu diketahui bahwa walaupun terbentuk sistem peredaran darah fetus- induk, namun aliran darah antara fetus dan induk tidak bercampur. Darah fetus tidak beredar di dalam peredaran darah induk dan darah induk tidak bersirkulasi di dalam tubuh fetus. Semua bahan makanan, limbah metabolisme, dan gas-gas masuk dari suatu pihak ke pihak lain melalui suatu barrier atau rintangan.

Pada babi, terdapat tidak kurang dari enam lapisan di antara aliran fetus dan aliran induk. Misalnya oksigen yang dating dari induk untuk memasuki tubuh fetus, maka oksigen tersebut harus melewati

endothelium pembuluh darah induk, jaringan ikat endometrium, epitelium endometrium, epitelium chorion, jaringan ikat chorion, dan endothelium pembuluh darah fetus.

## 2. Berdasarkan Penyebaran Vilichorioallantois

Berdasarkan penyebaran vilichorioallantois, maka plasenta dapat dikelompokkan menjadi plasenta diffusa, plasenta kotiledonaria, plasenta zonari, dan plasenta diskoidal. Plasenta pada babi adalah plasenta diffusa karena sebagian besar permukaan chorionnya bervili dan bertautan dengan endometrium. Pada biri-biri dan sapi, daerah pertautan lebih terbatas serta tersebar ke dalam kelompok-kelompok kecil sehingga plasentanya dikenal sebagai plasenta kotiledonaria. Bilapada daerah plasenta, vilinya tersusun menyerupai sabuk, maka plasentanya disebut plasenta zonari misalnya pada karnivora. Bila berkelompok pada suatu daerah terbatas dan berbentuk cakram makaplasentanya disebut plasenta diskoidal seperti yang dijumpai pada rodentia dan manusia.



Gambar 9.19. Tipe-Tipe Plasenta (A) Babi, Difusi, (B) Raccoon, Zonari Tidak Sempurna, (C) Beruang, Sub Tipe Zonari, (D) Anjing dan Kucing, Zonari atau Annulus, (E) Kera, Bidiskoidal, (F) Rusa Meksiko, Kotiledonaria, (G) Sapi, Kotiledonaria

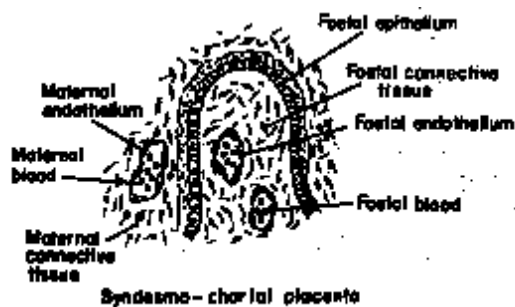
Sumber: Carlson, 1988

### 3. Berdasarkan Struktur Histologinya

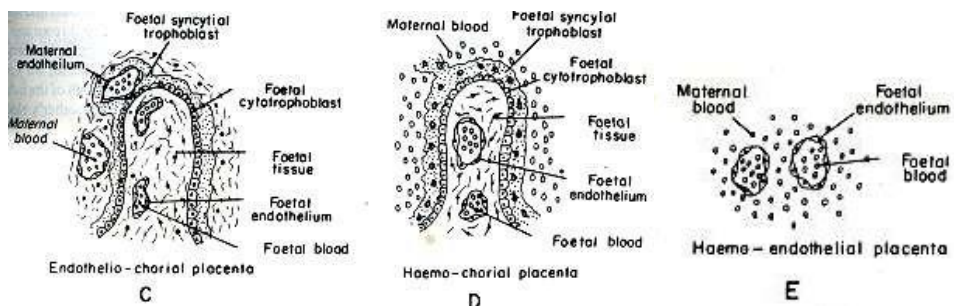
Klasifikasi plasenta pada uraian ini tidak lain merupakan klasifikasi plasenta tipe chorioallantois. Tipe-tipe plasenta ini dapat diketahui berdasarkan:

- Semua kapiler baik kapiler embrio maupun kapiler induk.
- memiliki lapisan dinding yang terbentuk oleh satu lapisan yang disebut endothelium.
- Bagian luar endothelium terdapat jaringan penghubung.
- Vilichorionik memiliki lapisan sinsitiotrofoblas pada bagian luar dan sitotrofoblas pada bagian dalam.
- Uterus induk memiliki lapisan epitel atau tidak.

Berdasarkan uraian di atas, maka plasenta chorioallantois dapat diklasifikasikan menjadi (i) plasenta *epiteliochorial*, (ii) plasenta *syndesmochorial*, (iii) plasenta *endoteliochorial*, dan (iv) plasenta *haemo-chorial*, dan (v) plasenta *haemo-endotelial*.



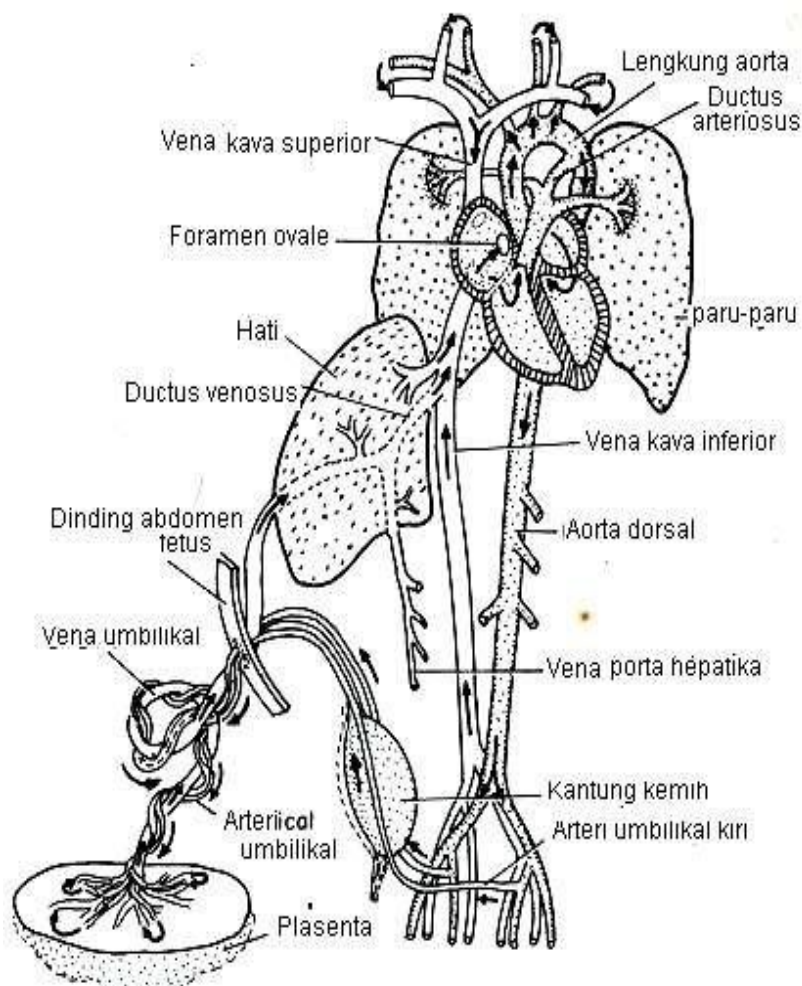
Gambar 9.20 Plasenta Epiteliochorial (A) dan Plasenta Syndesmochorial  
Sumber: Majumdar, 1985



Gambar 9.21 Plasenta Endoteliochorial (C) Plasenta Haemo-Chorial (D), dan  
Plasenta Haemo-Endotelial (E)  
Sumber: Majumdar, 1985



Plasenta merupakan organ yang sangat dibutuhkan bagi kelangsungan hidup embrio. Beberapa fungsi plasenta adalah (i) respirasi, yaitu pengambilan oksigen dari induk melalui sawar plasenta berlangsung dengan cara difusi dan CO<sub>2</sub> berdifusi melalui sawar plasenta dari fetus ke induk, (ii) nutrisi, yaitu pengambilan air, garam- garam mineral, karbohidrat, protein dan vitamin dari induk ke fetus (iii) sebagai proteksi terhadap virus dan bakteri, (iv) sekresi estrogen, progesteron, *chorion gonadotrophin*, *somatomammotropin chorional*.



Gambar 9.22 Sirkulasi Fetus-Induk  
Sumber: majumdar, 1985



**Tabel 9.2 Jenis-jenis Plasenta**

	Uterus induk			Fetus			Bentuk Plasenta	Nasib Endometrium	Contoh Hewan
	Endometrium			Chorioallantois					
	1	2	3	4	5	6			
A	+	+	+	+	+	+	Diffusa	Non desidua	Babi, Kuda
B	+	+	o	+	+	+	Kotiledonaria	Semi desidua	Biri-Biri, Sapi
C	+	o	o	+	+	+	Zonari	Desidua	Kucing, Anjing
D	o	o	o	+	+	+	Diskoidal	Desidua	Primata
E	o	o	o	o	o	+	Diffusa	Non desidua	Kelinci

*Keterangan:*

1. Endothelium, 2. Jaringan ikat, 3 Epitelium, 4 Epitelium, 5. Jaringan ikat, dan 6. Endothelium. A. Epiteliochorial, B. Syndesmochorial, C. Endoteliochorial, D. Haemo-chorial, dan E. Haemo-endotelial

## Latihan

1. Jelaskan kondisi rahim pada saat implantasi!
2. Jelaskan tahap-tahap implantasi!
3. Jelaskan tipe-tipe implantasi!
4. Jelaskan macam selaput ekstra embrio pada vertebrata tinggi!
5. Jelaskan proses terbentuknya plasenta!
6. Jelaskan penggolongan plasenta berdasarkan:
  - a. Macam selaput ekstra embrio yang bertautan.
  - b. Bentuk penyebaran vili *chorioallantois*.
  - c. Kokoh tidaknya pertautan antara jaringan embrio dan jaringan induk.
  - d. Struktur histologi pertautan antara jaringan embrio dan jaringan induk.

## DAFTAR PUSTAKA

---

- Adnan. 1992. *Pengaruh Mangostin terhadap Fungsi Reproduksi Mencit (Mus musculus) ICR Betina*. tesis Pasca Sarjana. IB. Bandung.
- Albert, D; Dennis. B; Lewis, J; Martin, R; Robert. K; and Waston, J.D. 1983. *Molekular Biology of the cell*. New York, London: Gerland Publ. Inc.
- Balinsky. 1976. *An Introduction to Embryology*. Philadelphia: W.B. Saunders, Co.
- Berril, N. L. 1971. *Development Biology*. New Delhi :Tata Mc. Graw Hill.
- Brorder, L. W. 1984. *Development Biology*. Japan, Philadelphia, New York: Saunders College Publ. Holt Saunders.
- Campbell and Mitchell. 2002. *Biology (Alih bahasa: Manalu, W)*. Jilid I. Jakarta: Erlangga.
- Carlson, R.M.1988. *Pattens Foundation of Embryology*.Mc. New York: Graw Hill Books.
- Carlson, R.M. 1988. *Pattens Foundation of Embryology*. New York: McGraw Hill Books.
- Gilbert, S.F. 1985. *Development Biology*. Massacussetts: Sinauer Ass. Publ. Sunderland.
- Gilbert, S.F. 1985. *Development Biology*. Sinauer Ass. Publ. Sunderland. Massacussetts.
- Huettner, A. F. 1949. *Fundamental of Comparative Embryology of the vertebrates*. The Mc. Milla Co. New York.
- Johnson, M. And Everiit, B. 1988. *Essential Reproduction*. Oxford, London: Black Well Scientific Publ.
- Junqueire, L.C. and Carnerio. J. 1980. *Basic Histology (Alih Bahasa adjj darma, 1982)*. California: Lange Medical Publ.
- Mader, S. S. 1988. *Human Biology*. Wm. C. Brown. Publisher. Iowa.
- Majumdar, N.M. 1985. *Texbook of vertebrates Embryology*. Mc. Graw Hill Publ. Co. New Delhi.

- Markert, C. L. And Heindrich, U. 1971. *Develpoment Genetics*. Prentice Hall. Inc. New Jersey.
- Nalbandov, A.V. 1990. *Reproductive Physiology of Mammals and Birds* (Alih bahasa: Keman S). Penerbit Universitas Indonesia.
- Oppenheimer, S. B. 1980. *Introduction to Embryonic Development*. Allyn and Bacon Inc. Boston. London.
- Sadler, T. 1985. *Medical Embryology*. (Alih bahasa Susanto, 1988). Baltimore: William and Wilikins.
- Saunders J. W. 1970. *Pattens and Principles of animal Development*. New York: The Mc. Millan Co.
- Saunders J. W. 1982. *Development Biology*. New York: The Mc. Millan Co.
- Spratt, N. T. 1971. *Development Biology*. Belmont, california: Wadsworth Publ Co.
- Starr, C and taggart, R. *Biology, he Unity and Diversity of Life*. Fifth edition Weadsworth Publ. Co. Belmont, California.
- Sudarwati, S. Dan Tjan Kiaw Nio. 1990. *Biologi perkembangan*. Bandung: PAU-ITB.
- Villee C. A; Walker, W.F; and Barnes R.D. 1999. bahasa: Sugiri, N). Erlangga. Jakarta General Zoology (Alih Bahasa: Sugiri, N). Erlangga. Jakarta).
- Willer and Oppenheimer, J.M. 1964. *Fundation Experimental Embryology*. Mac. Millan Publ. Co. New York.
- Yatim, W. 1982. *Reproduksi dan Embriologi*. Tarsito Bandung.

## PROFIL PENULIS

---



Dr. Adnan, M.S, Lahir di Pattiro Bajo Kec. Sibulue Kabupaten Bone pada tanggal 1 Februari 1965. Menyelesaikan pendidikan S-1 tahun 1987 di Jurusan Biologi IKIP Ujung Pandang. Tahun 1989-1990 mengikuti pendidikan Pra S-2 di Jurusan Biologi ITB Bandung. Tahun 1992, menyelesaikan pendidikan Magister Biologi di ITB Bandung. Tahun 2014, menyelesaikan pendidikan Doktor di Universitas Negeri Makassar, Ilmu Pendidikan, konsentrasi Pendidikan Biologi. Pada tahun 1985/1986, menjadi Ketua Himpunan Mahasiswa Jurusan Pendidikan Biologi FMIPA IKIP Ujung Pandang. Pada tahun 1988, terangkat sebagai dosen di Jurusan Biologi FMIPA IKIP Ujung Pandang dan mengajar mata kuliah Reproduksi dan Embriologi, Struktur Hewan, Biologi Sel, Morfogenesis Hewan, Fisiologi Hewan dan Mikroteknik. Konsultan *Science Education Quality Improvement Project* (SEQIP) kerja sama pemerintah Indonesia-Jerman tahun 2000-2006. Ketua Program Studi Pendidikan Biologi tahun 2003-2011. Kepala Laboratorium Kebun Percobaan Biologi FMIPA UNM Tahun 2015 sampai sekarang. Aktif menulis beberapa buku, antara lain Biologi Sel (2015), Penerbit Alauddin University Press; Biologi sel ultrastruktur dan fungsi sel (2016), Penerbit Alauddin University Press, dan Inkuiri terbimbing untuk struktur hewan (2016), penerbit Jurusan Biologi FMIPA UNM. Menjadi Tim penulis pada buku Model Pelatihan Mitigasi Bencana (2020) penerbit Global Research and Consulting Institute; Reproduksi dan pertumbuhan ikan bertulang belakang (2022) penerbit Nas Media Pustaka. Menjadi editor pada buku Genetika arif memahami kehidupan (2018) penerbit UNM dan Mengenal sistem pencernaan, pernapasan dan ekskresi berbantuan kartu kwartet (2022) penerbit Jurusan Biologi FMIPA UNM. Selain itu juga menulis pada beberapa jurnal antara lain: *Scientific literacy skills of students: Problem of biology teaching in junior high school in South Sulawesi*, Indonesia pada *International Journal of Instruction* (2021);

*Beyond effective teaching: Enhancing students' metacognitive skill through guided inquiry* pada *Journal of Physics: Conference Series* (2018), dan *The development of an enzyme catalase kit for engineering students at technical-vocational schools* pada *Global Journal of Engineering Education* (2017); *The Improving of Junior High School Student in Learning Motivation Through Implementation Contructivistic Biology Learning Model Based on Information and Communication Technology* pada *Journal of Education and Practice* (2014) dan *Enhance Cognitive Learning of Junior High School Students Through the Implementation of Constructivist Models of Learning Biology-Based ICT* pada *International Journal of Academic Research* (2014).

## **SINOPSIS**

Buku perkembangan hewan ini terdiri atas dua bagian, yaitu Perkembangan Hewan 1 dan Perkembangan Hewan 2. Perkembangan hewan 1 membahas tentang embriogenesis, sedangkan perkembangan hewan 2 membahas tentang organogenesis, regenerasi dan metamorfosis. Buku Perkembangan Hewan bagian 1 ini terdiri atas 9 Bab, yaitu Pendahuluan, Reproduksi Sel, Organ reproduksi, Gametogenesis, Fertilisasi, Pembelahan (Cleavage), Blastulasi, Gastrulasi, serta Implantasi dan Selaput Ekstraembrio.

## Profil Penulis



Dr. Adnan, MS, Lahir di Pattiwo Bajo Kec. Sibulue Kabupaten Bone pada tanggal 1 Februari 1965. Menyelesaikan pendidikan S-1 tahun 1987 di Jurusan Biologi IKIP Ujung Pandang. Tahun 1989-1990 mengikuti pendidikan Pra S-2 di Jurusan Biologi ITB. Pada tahun 1985/1986, menjadi Ketua Himpunan Mahasiswa Jurusan Pendidikan Biologi FMIPA IKIP Ujung Pandang. Pada tahun 1988, terangkat sebagai dosen di Jurusan Biologi FMIPA IKIP Ujung Pandang dan mengasuh matakuliah Reproduksi dan Embriologi, Struktur Hewan, Biologi Sel, Morfogenesis Hewan, Fisiologi Hewan dan Mikroteknik. Konsultan Science Education Quality Improvement Project (SEQIP) kerjasama

Pemerintah Indonesia-Jerman tahun 2000-2006. Ketua Program Studi Pendidikan Biologi tahun 2003-2011. Kepala Laboratorium Kebun Percobaan Biologi tahun 2015 sampai sekarang. Aktif menulis beberapa buku, antara lain Biologi sel (2015), penerbit Alauddin University Press; Biologi Sel ultrastruktur dan fungsi sel (2016) penerbit Alauddin University Press, dan Inkuiri terbimbing struktur hewan (2016) penerbit Jurusan Biologi FMIPA UNM. Menjadi Tim penulis pada buku Model Pelatihan Mitigasi Bencana (2020) penerbit Global Research and Consulting Institute; Reproduksi dan pertumbuhan ikan bertulang belakang (2022) penerbit Nas Media Pustaka. Menjadi editor pada buku Genetika Arif memahami kehidupan (2018) penerbit UNM dan Mengenal sistem pencernaan, pernapasan dan ekskresi berbantuan kartu kwartet (2022) penerbit Jurusan Biologi FMIPA UNM. Selain itu juga menulis pada beberapa jurnal antara lain: *Scientific literacy skills of students*; *Problem of biology teaching in junior high school in South Sulawesi, Indonesia* pada *International Journal of Instruction* (2021); *Beyond effective teaching; Enhancing students metacognitive skill through guided inquiry* pada *Journal of Physics: Conference Series* (2018), dan *The development of an enzyme catalase kit for engineering students at technical-vocational schools* pada *Global Journal of Engineering Education* (2017); *The Improving of Junior High School Student in Learning Motivation Through Implementation Constructivist Biology Learning Model Based on Information and Communication Technology* pada *Journal of Education and Practice* (2014) dan *Enhance Cognitive Learning of Junior High School Students Through the Implementation of Constructivist Models of Learning Biology-Based ICT* pada *International Journal of Academic Research* (2014).

## Sinopsis

Buku perkembangan hewan ini terdiri atas dua bagian, yaitu Perkembangan Hewan 1 dan Perkembangan Hewan 2. Perkembangan Hewan 1 membahas tentang embriogenesis, sedangkan perkembangan hewan 2 membahas tentang organogenesis, regenerasi dan metamorfosis. Buku perkembangan Hewan bagian 1 ini terdiri atas 9 bab, yaitu Pendahuluan, Reproduksi Sel, Organ Reproduksi, Gametogenesis, Fertilisasi, Pembelahan (Cleavage), Blastulasi, Gastrulasi, serta Implantasi dan Selaput Ekstraembrio.



Penerbit P4I

ISBN 978-623-5490-79-3 (no.jil.lengkap)

ISBN 978-623-5490-80-9 (jil.1)



9 786235 490809