

PERKEMBANGAN HEWAN



Penulis

Muliana GH, Helsa Rahmatika, Suharno Zen,
Vivin Kusumaningrum, Rifka Almunawarah, Rezki, Safrida,
Swastika Oktavia, Ina Nurtanti, Dewi Rulia Br Sitepu,
Deswidya S Hutauruk, Khairina Afni, Junaedi

PERKEMBANGAN HEWAN

**Muliana GH
Helsa Rahmatika
Suharno Zen
Vivin Kusumaningrum
Rifka Almunawarah
Rezki
Safrida
Swastika Oktavia
Ina Nurtanti
Dewi Rulia Br Sitepu
Deswidya S Hutaauruk
Khairina Afni
Junaedi**



PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

PERKEMBANGAN HEWAN

Penulis :

Muliana GH
Helsa Rahmatika
Suharno Zen
Vivin Kusumaningrum
Rifka Almunawarah
Rezki
Safrida
Swastika Oktavia
Ina Nurtanti
Dewi Rulia Br Sitepu
Deswidya S Hutauruk
Khairina Afni
Junaedi

ISBN : 978-623-198-264-3

Editor : Dr. Oktavianis, M.Biomed.

Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

Penyunting: Dr. Neila Sulung, N.S.S.Pd. M.Kes.

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd.

Penerbit : PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jl. Pasir Sebelah No. 30 RT 002 RW 001
Kelurahan Pasie Nan Tigo Kecamatan Koto Tengah
Padang Sumatera Barat

Website : www.globaleksekutifteknologi.co.id

Email : globaleksekutifteknologi@gmail.com

Cetakan pertama, Mei 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul Perkembangan Hewan dapat diselesaikan dengan kerjasama tim penulis. Buku ini ditulis untuk membantu pengajar atau dosen dan mahasiswa dalam mempelajari materi perkembangan hewan. Buku ini berisikan bahasan tentang konsep perkembangan hewan, organ reproduksi hewan, gametogenesis, fertilisasi, blastulasi, gastrulasi, neurulasi, selaput embrio, organ urogenital, pembentukan sistem peredaran darah, pembentukan sistem pencernaan dan pernapasan, metamorfosis, produksi embrio sapi melalui teknologi splitting.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Padang, Mei 2023
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 KONSEP PERKEMBANGAN HEWAN	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Sejarah Perkembangan Hewan (Embriologi)	3
1.2.1 Teori Preformasi (abad ke-17 hingga abad ke-18)	3
1.2.2 Teori Epigenesis (abad ke-18)	3
1.2.3 Teori Rekapitulasi (abad ke-19)	4
1.2.4 Teori von Baer (abad ke-19)	4
1.2.4 Teori Plasma Germinal (abad ke-19 hingga abad ke-20)	4
1.3 Manfaat mempelajari Perkembangan Hewan	5
1.4 Tahapan Perkembangan Hewan	7
1.4.1 Tahap Fertilisasi	8
1.4.2 Tahap Pembelahan sel (Segmenasi)	9
1.4.3 Tahap Blastulasi	9
1.4.3 Tahap Gastrulasi	9
1.4.4 Tahap Neurulasi	11
1.4.5 Tahap Organogenesis	13
DAFTAR PUSTAKA	15
BAB 2 ORGAN REPRODUKSI HEWAN	17
2.1 Organ Reproduksi Hewan Jantan	17
2.1.1 Testis	18
2.1.2 Epididymis	20
2.1.3 Vas Deferens	21
2.1.4 Urethra	22
2.1.5 Kelenjar Vesikula Seminalis	22
2.1.6 Kelenjar Prostat	23
2.1.7 Kelenjar Cowper	24
2.1.8 Penis	24
2.1.9 Scrotum	26
2.2 Organ Reproduksi Hewan Betina	26
2.2.1 Ovarium	27
2.2.2 Tuba Fallopii (Oviduct)	27
2.2.3 Uterus	28
2.2.4 Cervix	30
2.2.5 Vagina	31
2.2.5 Alat Kelamin Luar	31
DAFTAR PUSTAKA	33

BAB 3 GAMETOGENESIS	35
3.1 Pendahuluan	35
3.2 Spermatogenesis	35
3.3 Oogenesis	37
DAFTAR PUSTAKA	41
BAB 4 FERTILISASI	43
4.1 Pengertian Fertilisasi	43
4.2 Macam - Macam Fertilisasi	43
4.3 Fungsi Fertilisasi bagi Makhluk Hidup	45
4.4 Proses Kejadian Selama Fertilisasi	46
DAFTAR PUSTAKA	53
BAB 5 BLASTULASI	55
5.1 Pengertian Blastula	55
5.2 Bentuk Blastula	56
5.3 Berbagai Jenis Blastula pada Hewan	57
5.3.1 Blastula pada Bintang Laut	57
5.3.2 Blastula pada Amphibia	59
5.3.3 Blastula pada Amphioxus	60
5.3.4 Blastula pada Mamalia	61
5.3.5 Blastula pada Aves	62
5.3.6 Blastula pada Ikan	63
5.3.7 Blastula pada Reptil	64
5.3.8 Blastula pada Insecta	65
DAFTAR PUSTAKA	66
BAB 6 GASTRULASI	67
6.1 Pendahuluan	67
6.2 Gerakan Morfogenik	69
6.3.1. Gastrulasi Asteries	70
6.3.2. Gastrulasi Amphioxus	71
6.3.3 Gastrulasi Amphibian	74
6.3.4 Gastrulasi pada Aves	77
6.3.5 Gastrulasi pada mamalia	81
DAFTAR PUSTAKA	86
BAB 7 NEURULASI	89
7.1 Pendahuluan	89
7.2 Regulasi Molekuler Neural	91
7.3 Sel Neural Crest	94
7.4 Regulasi Induksi Molekuler	95
DAFTAR PUSTAKA	96
BAB 8 SELAPUT EMBRIO	97
8.1 Pendahuluan	97
8.2 Struktur Anatomi Selaput Embrio	100
8.2.1 Amnion	100

8.2.2 Korion	100
8.2.3 Alantois	101
8.2.4 Kantung Kuning Telur (<i>Yolk Sac</i>)	102
8.3 Fungsi Selaput Embrio	103
8.4 Selaput Embrio Pada Vertebrata	103
8.4.1 Selaput Embrio Pada Amniota	103
8.4.2 Selaput Embrio Pada Babi, Sapi dan Kuda.....	105
8.4.3 Selaput Embrio Pada Rodensia.....	106
8.4.4 Selaput Embrio Pada Primata dan Manusia	107
DAFTAR PUSTAKA.....	109
BAB 9 ORGAN UROGENITAL.....	111
9.1 Pendahuluan	111
9.2 Perkembangan Organ Urinari.....	112
9.3 Organ Urinari.....	113
9.4 Perkembangan Organ Genital	117
9.4.1. Bagian Organ Genital Jantan/Masculina	118
9.4.2. Organ Genitalia Feminina	120
DAFTAR PUSTAKA.....	122
BAB 10 PEMBENTUKAN SISTEM PEREDARAN DARAH	123
10.1 Pendahuluan	123
10.2 Darah	123
10.3 Komposisi Darah	127
10.2.1 Sel Darah Merah (Eritrosit)	129
10.2.2 Sel Darah Putih (Leukosit).....	131
10.2.3 Trombosit (Sel Pembeku)	133
10.2.4 Plasma Darah	134
10.4 Penggolongan Darah.....	134
10.4.1 Penggolongan darah sistem ABO	134
10.4.2 Sistem Rhesus (Rh)	136
10.5 Jantung dan Pembuluh Darah.....	136
10.5.1 Jantung.....	136
10.5.2 Pembuluh Darah.....	138
DAFTAR PUSTAKA.....	142
BAB 11 PEMBENTUKAN SISTEM PENCERNAAN DAN SISTEM	
PERNAPASAN	145
11.1 Pendahuluan	145
11.2 Pembentukan Sistem Pencernaan	146
11.3 Pembentukan Sistem pernapasan	151
11.3.1 Pembentukan insang.....	151
11.3.2 Pembentukan trakhea.....	152
11.3.3 Pembentukan Paru-Paru	152
11.3.4 Pembentukan sistem pernapasan difusi permukaan tubuh ...	155
DAFTAR PUSTAKA.....	157

BAB 12 METAMORFOSIS	159
12.1 Pengertian	159
12.2 Jenis-Jenis Metamorfosis	160
12.2.1 Metamorfosis Sempurna (Holometabola)	160
11.2.2 Metamorfosis Tidak Sempurna (Heterometabola)	167
12.3 Kesimpulan	171
DAFTAR PUSTAKA.....	172
BAB 13 PRODUKSI EMBRIO SAPI MELALUI TEKNOLOGI	
SPLITTING.....	173
13. 1 Pendahuluan	173
13.2 Gambaran Umum Splitting Embrio.....	175
13.3 Sejarah Splitting Embrio	175
13.4 Fase Perkembangan Embrio	176
13.5 Kriteria Embrio yang bisa di Splitting	178
13.6 Metode Splitting Embrio	179
13.7 Tahapan Splitting Embrio	181
13.8 Kelebihan dan Kekurangan Teknik Splitting Embrio Biopsi dan Biseksi.....	184
13.9 Keberhasilan Splitting Embrio	185
13.10 Manfaat Splitting Embrio	187
13.11 Rekonstruksi Embrio Setelah Splitting.....	190
13.12 Kembar Buatan Identik Melalui Proses Splitting Embrio	192
13.13 Penutup.....	194
DAFTAR PUSTAKA.....	195
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Pertumbuhan Zigot hingga membentuk Gastrula.....	8
Gambar 1.2 Gastrulasi pada embrio katak	11
Gambar 1.3. Metamorfosis pada Hewan.....	16
Gambar 2.1. Organ Reproduksi Jantan	18
Gambar 2.2. Testis	19
Gambar 2.3. Epididimis dan sel-sel penyusunnya	20
Gambar 2.4. Glans Penis pada beberapa hewan	25
Gambar 2.5. Organ Reproduksi Wanita	27
Gambar 2.6. Tuba Fallopii (Oviduct).....	28
Gambar 2.7. Tipe uterus beberapa jenis hewan.....	29
Gambar 3.1. Spermatogenesis.....	36
Gambar 3.2. Struktur sel sperma	37
Gambar 3.3. Oogenesis	38
Gambar 3.4. Struktur Ovum	39
Gambar 3.5. Perbedaan Spermatogenesis dan Oogenesis	40
Gambar 4.1. Proses Fertilisasi (a) Gambaran skematik sperma yang menembus sawar-sawar yang mengelilingi ovum. (b) foto mikroskop elektron yang menunjukkan spermatozoa dengan membran akrosom yang telah rusak dan enzim-enzim akrosom yang menyertainya	50
Gambar 4.2. Tahap awal terjadinya Fertilisasi hingga implantasi. Menunjukkan bahwa ovum yang dibuahi secara progresif membelah dan berdiferensiasi menjadi blastokista selama bergerak dari tempat terjadinya fertilisasi di tubauterina bagian atas menuju tempat implantasi di dalam uterus	51
Gambar 5.1. Bentuk Blastula pada Asteria sp	57
Gambar 5.2. Ingresi pada Asterias. (A) Dinding pada Blastula Sebelum Ingresi , (B) Sel Mesenkim Primer {P} Pemanjangan Blastocoel Tidak Sempurna Menembus Lamina Basalis {LB}, (C) pada Ujung Sel terlepas dari Lapisan Hialin {H}, (D) Sel Mesenkim Primer Memisahkan Diri dari Dinding Blastocoel, (E) Sel Mesenkim Terpisah.....	58
Gambar 5.3. Blastula pada Katak.....	60
Gambar 5.4. Blastula pada Amphioxus	61
Gambar 5.5. Skema Blastula pada Embrio Mamalia.....	62
Gambar 5.6. Proses Terbentuknya Rongga Blastula pada Aves	63
Gambar 5.7. Blastula pada ikan	64
Gambar 6.1. Tahapan gastrulasi amphioxus	72
Gambar 6.2. Tahapan gastrulasi frog	76
Gambar 6.3. Tahapan gastrulasi Frog.....	80
Gambar 6.4. Tahapan gastrulasi amphioxus	85

Gambar 7.1. Tahapan dan Jenis Neurulasi.....	90
Gambar 7.2. Tahapan Neurulasi 20 hari.....	92
Gambar 7.3. Tahapan Neurulasi 23 hari.....	92
Gambar 7.4. Induksi Molekuler	94
Gambar 8.1 Selaput Embrio Pada Amniota (Reptil, Tikus, Burung dan Manusia)	99
Gambar 8.2. Gambaran Letak Alantois pada Embrio Ayam.....	102
Gambar 8.3. Pembentukan Awal Selaput Embrio; (A) Pada Burung, Reptil, dan Monotremata; (B) Pada Mamalia; EMB : Embrio, CHOR : Korion, ES: Cangkang Telur, AM: Amniotic Cavity, ALL: Vesikula Alantois, YS: Kantung Kuning Telur, UT: Dinding Uterus	105
Gambar 9.1. Tahapan Perkembangan Ginjal	113
Gambar 9.2. Ginjal Hewan Mamalia.....	114
Gambar 9.3. Organ Ginjal Katak	115
Gambar 9.4. Organ Eksresi Reptil.....	115
Tabel 9.2. Perbedaan organ genital jantan dan betina.....	118
Gambar 9.4. Organ Testis	119
Gambar 10.1. Elemen padat darah.....	127
Gambar 10.2. Struktur Eritrosit	130
Gambar 10.3. Molekul Haemoglobin	130
Gambar 10.4. Lima jenis leukosit: (a) eosinofil, (b) basofil, (c) neutrofil, (d) limfosit, dan (e) monosit.....	132
Gambar 10.5. Karakteristik Antigen dan Antibodi dalam Golongan Darah ABO.....	135
Gambar 10.6. Anatomi Permukaan Jantung.....	137
Gambar 11.1. Perkembangan sistem pencernaan ayam pada hari ke-7 (simbol SP)	148
Gambar 11.2. Perkembangan derivat endometrium menjadi usus besar pada Gallus-gallus domesticus	149
Gambar 11.3. Perkembangan saluran dan sistem pencernaan ikan tuna sirip kuning (Thunnus albacares).....	150
Gambar 11.4. Paru-paru buku pada Laba-laba.....	154
Gambar 11.5. Tahapan perkembangan Paru-paru	154
Gambar 12.1. Metamorfosis Kupu-Kupu.....	164
Gambar 12.2. Metamorfosis Nyamuk	165
Gambar 12.3. Metamorfosis Katak.....	166
Gambar 12.4 Metamorfosis Belalang.....	169
Gambar 12.5. Metamorfosis Kecoa	170
Gambar 13.1. Skema fertilisasi secara in vivo dan Perkembangan embrio di dalam saluran reproduksi betina	177
Gambar 13.2. Fase Perkembangan embrio	178
Gambar 13.3. Metode biopsi embrio	179

Gambar 13.4. Metode biseksi blastokista	180
Gambar 13.5. Proses Splitting embrio dan rekonstitusi demi-embrio setelah 12 jam kultur in vitro. a) Expanded blastosis yang berbentuk simetris terhadap microblade yang membelah dua, b) Demi embrio yang dihasilkan, c) Rekonstitusi demi embrio.....	183
Gambar 13.6. Proses splitting; a. Goresan pada cawan petri, b. pembedahan embrio, c. demi embrio	183
Gambar 13.7. Pewarnaan sel (Hoechst) dari demi-embrio in vitro setelah 12 jam kultur. Pembesaran 200 X	184
Gambar 13.8. Kondisi ICM dan tropektoderm blastokista berdasarkan tingkatan grade	186
Gambar 12.9. Persentase blastulasi yang diperoleh melalui teknik splitting.....	187
Gambar 13.10. Rekonstitusi in vitro dari demi-embrio setelah 12 jam kultur (Pembesaran 200 X)	190

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan organ reproduksi jantan pada beberapa hewan...	17
Tabel 9.1. Proses Pada Ginjal.....	116
Tabel 13.1. Beberapa spesies yang berhasil dilakukan embrio splitting.....	176
Tabel 13.2. Kelebihan dan kekurangan teknik biopsi dan biseksi embrio	185
Tabel 13.3. Karakteristik blastokista berdasarkan tingkatan grade.....	186
Tabel 13.4. Pengaruh tahap perkembangan embrio terhadap keberhasilan splitting setelah transfer embrio pada sapi....	187
Tabel 13.5. Hubungan jumlah embrio yang displitting terhadap jumlah keturunan yang lahir dan efisiensi kelahiran.....	175
Tabel 13.6. Efisiensi rekonstitusi demi-embrio sapi setelah kultur in vitro selama 2-48 jam pasca-pembelahan.	177

BAB 1

KONSEP PERKEMBANGAN HEWAN

1.1 Pendahuluan

Ilmu perkembangan hewan berhubungan dengan tahapan perkembangan embrionik, serta tahapan perkembangan janin. Hubungan antara perkembangan hewan dan tahapan perkembangan embrionik dan janin dimulai dari saat pembuahan terjadi hingga mencapai tahap janin. Ilmu perkembangan berkaitan erat dengan bidang-bidang seperti genetika, biologi sel, serta biokimia.

Semua hewan bertulang belakang memiliki fase awal kehidupan sebagai embrio. Meskipun pemahaman kita tentang perkembangan embrio dan mekanisme pengaturannya terus meningkat, masih banyak hal yang perlu ditemukan. Ilmu perkembangan hewan memberikan dasar untuk mempelajari genetika hewan, sistem organ, dan biologi reproduksi.

Untuk mempelajari reproduksi dengan baik, kita perlu menguasai ilmu-ilmu pendukung lainnya seperti fisiologi, anatomi, histologi, imunologi, biokimia, genetika, endokrinologi, dan mikroteknik. Semua ilmu pengetahuan ini dibutuhkan untuk mempelajari reproduksi secara menyeluruh dan terus menerus. Kita perlu menghubungkan reproduksi dengan ilmu pengetahuan pendukung secara dua arah, sehingga dapat terbentuk pendekatan asosiatif yang diperlukan untuk memperoleh pemahaman yang baik tentang reproduksi. Sebagai ciri biologis, reproduksi adalah proses siklus kehidupan yang terjadi pada semua makhluk hidup untuk memastikan kelangsungan hidupnya dan merupakan mekanisme perubahan biotik.

Ilmu perkembangan hewan adalah cabang embriologi dalam biologi yang mempelajari pertumbuhan dan perkembangan individu pada tahap awal. Siklus perkembangan dimulai dari sel telur yang telah dibuahi dan berkembang menjadi struktur yang lebih kompleks hingga menjadi organisme yang mandiri seperti induknya. Tahapan perkembangan meliputi masa embrio, masa kanak-kanak, masa remaja, masa dewasa, dan akhirnya masa tua yang diakhiri dengan kematian organisme.

Ontogeni adalah bidang ilmu yang mempelajari sejarah kehidupan individu yang lengkap atau utuh. Pada katak atau amfibi, batas perkembangan embrio ditentukan sebelum metamorfosis, sedangkan pada burung dan reptil batas perkembangan sebelum penetasan, dan pada mamalia sebelum kelahiran. Beberapa ahli membatasi perkembangan embrionik hingga mencapai kematangan alat kelamin individu.

Adanya batas atau fase perkembangan dalam sejarah kehidupan individu sebenarnya hanyalah cara manusia untuk memudahkan cara mempelajarinya. Sebenarnya, penetasan, kelahiran, dan peristiwa lainnya adalah bagian dari proses perkembangan yang berkelanjutan. Ini adalah rangkaian peristiwa yang saling terkait dan tidak terputus, dan tidak ada garis pemisah atau batasan antara tahap perkembangan yang satu dengan yang lain.

Ketika membahas tentang embriologi, seringkali kita menggunakan istilah "fetus". Fetus adalah tahap perkembangan di mana bentuk dasarnya mirip dengan induknya, tetapi perkembangan masih belum selesai. Ini berarti organ dan jaringan yang membentuk individu tersebut secara struktur dan kelengkapannya sudah sempurna, namun belum mampu melakukan aktivitas sesuai fungsinya. Sebagai contoh, paru-paru telah terbentuk dengan sempurna, tetapi belum dapat melakukan fungsi pernafasannya; saluran pencernaan sudah terbentuk dengan lengkap, tetapi belum dapat melakukan fungsi pencernaannya. Pada hewan berkantung (marsupium), ketika

lahir, mereka masih dalam tahap fetus dan belum memiliki bulu pada tubuhnya, tidak dapat menggunakan alat geraknya untuk berjalan atau melompat, dan ukuran tubuhnya masih terlalu kecil. Selanjutnya, perkembangan terjadi di dalam kantung perut induknya (marsupium).

1.2 Sejarah Perkembangan Hewan (Embriologi)

Embriologi adalah cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang perkembangan embrio atau calon individu dari sel telur yang telah dibuahi hingga membentuk organisme yang utuh. Sejarah perkembangan embriologi telah melalui beberapa tahapan dan teori yang ditemukan oleh para ilmuwan terkemuka pada zamannya. Berikut ini adalah beberapa teori dan tahapan penting dalam sejarah perkembangan embriologi, dimulai dari teori preformasi, teori epigenesis, teori rekapitulasi, teori Von Baer, dan teori Plasma Germinal.

1.2.1 Teori Preformasi (abad ke-17 hingga abad ke-18)

Teori preformasi pertama kali muncul pada abad ke-17 hingga awal abad ke-18. Teori ini menyatakan bahwa embrio terbentuk dari sel telur atau sperma yang sudah memiliki bentuk miniatur dari organisme dewasa yang lengkap. Dalam teori ini, organisme yang dewasa sudah terdapat dalam gamet (spermatozoa atau ovum) dan hanya membutuhkan lingkungan yang sesuai untuk berkembang menjadi makhluk hidup yang utuh.

1.2.2 Teori Epigenesis (abad ke-18)

Teori epigenesis pertama kali dikemukakan oleh seorang ilmuwan bernama Caspar Friedrich Wolff pada abad ke-18. Teori ini menyatakan bahwa embrio terbentuk melalui serangkaian tahap yang kompleks, dimulai dari sel telur atau sperma hingga membentuk organisme yang utuh. Dalam teori

ini, organisme dewasa tidak terdapat dalam gamet, tetapi muncul melalui proses perkembangan dari sel-sel yang tidak berbeda menjadi sel-sel yang sangat berbeda-beda.

1.2.3 Teori Rekapitulasi (abad ke-19)

Teori rekapitulasi atau disebut juga dengan teori biogenetik menyatakan bahwa perkembangan embrio mencerminkan evolusi organisme yang telah terjadi dalam sejarah evolusi. Dalam teori ini, tahapan-tahapan perkembangan embrio mengulangi tahapan-tahapan evolusi organisme dari bentuk primitif ke bentuk yang lebih kompleks. Teori ini pertama kali diperkenalkan oleh Ernst Haeckel pada abad ke-19.

1.2.4 Teori von Baer (abad ke-19)

Teori von Baer, yang dikemukakan oleh seorang ilmuwan bernama Karl Ernst von Baer pada abad ke-19, menyatakan bahwa embrio organisme tidak menunjukkan kemiripan dengan organisme dewasa pada tahap-tahap awal perkembangan, tetapi semakin mirip pada tahap-tahap perkembangan yang lebih maju. Dalam teori ini, embrio mamalia tampak seperti embrio mamalia lain pada tahap awal perkembangan, tetapi semakin jelas berbeda ketika memasuki tahap perkembangan yang lebih lanjut.

1.2.4 Teori Plasma Germinal (abad ke-19 hingga abad ke-20)

Teori plasma germinal, yang dikemukakan oleh seorang ilmuwan bernama August Weismann pada akhir abad ke-19 hingga awal abad ke-20, menyatakan bahwa materi genetik (gen) hanya terdapat pada sel telur dan sperma (germinal cells). Dalam teori ini, gen tidak dapat diubah oleh faktor lingkungan atau lingkungan luar selama perkembangan embrio. Teori ini mendukung teori epigenesis yang menyatakan bahwa organisme dewasa terbentuk melalui serangkaian tahap kompleks yang

melibatkan perubahan dan diferensiasi sel. Namun, teori plasma germinal menekankan bahwa materi genetik merupakan faktor utama yang menentukan karakteristik organisme.

Sejarah perkembangan embriologi telah melalui berbagai tahapan dan teori yang saling berkaitan dan saling melengkapi. Dari teori preformasi hingga teori plasma germinal, para ilmuwan terus mengembangkan pemahaman mereka tentang bagaimana embrio berkembang dan menjadi organisme yang utuh. Seiring dengan kemajuan teknologi dan penemuan-penemuan baru dalam bidang biologi, perkembangan embriologi akan terus berkembang dan memberikan manfaat bagi ilmu pengetahuan dan kesehatan manusia.

1.3 Manfaat mempelajari Perkembangan Hewan

Ilmu perkembangan hewan adalah bidang ilmu biologi yang mempelajari bagaimana sel-sel dan jaringan dalam embrio berkembang dan berdiferensiasi menjadi organ dan sistem yang berbeda dalam tubuh hewan. Studi perkembangan hewan sangat penting untuk memahami bagaimana organisme berkembang dan berevolusi, serta memiliki banyak manfaat bagi ilmu pengetahuan dan kesehatan manusia, diantaranya kita dapat memahami asal-usul organisme, bermanfaat dalam bidang pengembangan obat-obatan, perawatan kesehatan manusia, meningkatkan kesuburan dan kesehatan reproduksi, konservasi spesies, serta manfaat utama yakni pendidikan.

Manfaat mempelajari ilmu perkembangan hewan yang pertama adalah kita dapat memahami asal-usul organisme. Studi perkembangan hewan membantu para ilmuwan memahami bagaimana organisme berevolusi dari waktu ke waktu dan bagaimana spesies baru terbentuk. Hal ini memberikan gambaran lebih lengkap tentang asal usul dan hubungan antara organisme di alam.

Manfaat lain dari mempelajari ilmu perkembangan hewan adalah sebagai dasar dalam pengembangan obat-obatan. Studi perkembangan hewan penting dalam pengembangan obat-obatan. Banyak obat-obatan yang dikembangkan berdasarkan pemahaman tentang bagaimana sel-sel dan jaringan berkembang dan berfungsi dalam tubuh hewan. Contohnya, obat-obatan kanker yang menghambat pertumbuhan sel kanker seringkali didasarkan pada pemahaman tentang bagaimana sel-sel normal berkembang.

Manfaat mempelajari ilmu perkembangan hewan lainnya yakni manfaat dalam bidang perawatan kesehatan manusia. Studi perkembangan hewan membantu para ilmuwan memahami bagaimana organisme manusia berkembang dan berfungsi. Ini termasuk memahami perkembangan janin dan bagaimana sistem organ dan jaringan berkembang, sehingga secara tidak langsung dapat membantu dalam diagnosis dan pengobatan penyakit.

Manfaat mempelajari ilmu perkembangan hewan adalah sebagai upaya meningkatkan kesuburan dan kesehatan reproduksi. Studi perkembangan hewan juga berguna dalam meningkatkan kesuburan dan kesehatan reproduksi. Dengan memahami bagaimana embrio berkembang dan sistem reproduksi bekerja, para ilmuwan dapat mengembangkan teknik reproduksi buatan yang lebih efektif dan mengatasi masalah infertilitas pada manusia dan hewan.

Manfaat lain mempelajari ilmu perkembangan hewan adalah dalam rangka konservasi spesies. Studi perkembangan hewan juga penting untuk konservasi spesies. Dengan memahami bagaimana organisme berkembang dan berevolusi, para ilmuwan dapat mengembangkan strategi konservasi yang lebih efektif untuk spesies yang terancam punah.

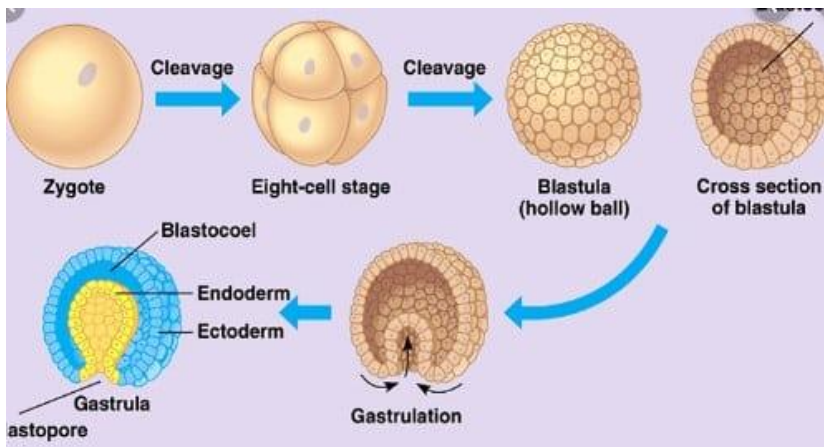
Manfaat penting lainnya dalam mempelajari ilmu perkembangan hewan adalah manfaat dalam bidang kependidikan. Studi perkembangan hewan juga penting dalam

pendidikan biologi. Memahami bagaimana organisme berkembang dan berevolusi memberikan wawasan yang lebih baik tentang proses biologis yang mendasar dan memperkaya pemahaman tentang kehidupan di Bumi.

Studi perkembangan hewan sangat penting dan memiliki banyak manfaat untuk ilmu pengetahuan dan kesehatan manusia. Dengan terus mengembangkan teknologi dan penemuan baru, kita dapat terus memperluas pemahaman kita tentang bagaimana organisme berkembang dan berevolusi, dan memanfaatkannya untuk memperbaiki kualitas hidup kita.

1.4 Tahapan Perkembangan Hewan

Tahapan perkembangan hewan terdiri dari beberapa fase yang disebut siklus hidup. Tahapan perkembangan yang dialami oleh hewan bergantung pada jenis hewan itu sendiri. Beberapa jenis hewan dapat mengalami metamorfosis, yaitu perubahan bentuk dari satu fase ke fase berikutnya.



Gambar 1.1. Pertumbuhan Zigot hingga membentuk Gastrula
(Sumber : utakatikotak.com)

Tahapan perkembangan hewan secara umum yakni tahapan pembuahan atau fertilisasi, tahapan pembelahan sel atau segmenasi, tahapan blastula, tahapan gastrula, tahapan neurulasi, tahapan organogenesis, lalu tahap dewasa.

1.4.1 Tahap Fertilisasi

Tahap fertilisasi atau pembuahan merupakan tahap awal perkembangan hewan. Pada tahap ini, sel sperma dan sel telur bergabung dan membentuk zigot. Pada tahapan fertilisasi, terjadi sejumlah reaksi, diantaranya adalah reaksi akrosomal dan reaksi kortikal.

Reaksi akrosomal adalah suatu proses yang terjadi pada sperma selama pembuahan, di mana membran luar dari kepala sperma mencair dan melepaskan enzim-enzim dari akrosom, sebuah struktur sitoplasma yang terdapat di kepala sperma. Enzim-enzim ini membantu sperma menembus lapisan luar sel telur dan memungkinkan penyatuan antara sperma dan sel telur untuk terjadi. Proses ini sangat penting untuk keberhasilan pembuahan pada hewan dan manusia. Reaksi yang terjadi selanjutnya adalah reaksi kortikal.

Reaksi kortikal adalah suatu proses yang terjadi selama fertilisasi atau pembuahan pada sel telur (ovum) pada hewan. Proses ini terjadi ketika kepala sperma berhasil menembus lapisan luar sel telur, yang disebut zona pellucida. Saat kepala sperma masuk ke dalam sel telur, ion kalsium dilepaskan dari dalam sel telur dan memicu reaksi yang mengubah sifat zona pellucida. Reaksi kortikal ini melibatkan pelepasan granula kortikal, yaitu bahan kimia yang dikeluarkan oleh sel telur dan berfungsi untuk menggumpalkan zona pellucida, sehingga mencegah spermatozoa lain dari mengakses sel telur yang sama. Reaksi kortikal juga menyebabkan pembentukan membran yang disebut membran fertilisasi, yang mengelilingi sel telur dan mencegah pembuahan ganda. Proses ini penting untuk memastikan bahwa hanya satu spermatozoa yang berhasil membuahi sel telur, dan memastikan keberhasilan pembuahan pada hewan.

1.4.2 Tahap Pembelahan sel (Segmenasi)

Tahap kedua adalah tahap pembelahan sel atau segmenasi. Tahap segmenasi adalah tahap pembelahan zigot menjadi beberapa sel. Pada tahap ini, jumlah sel di dalam embrio terus bertambah namun ukurannya tidak berubah. Pada tahap segmenasi awal, sel telur yang dibuahi mulai membelah secara cepat membentuk sel-sel kecil yang disebut blastomere. Setelah beberapa pembelahan, sel-sel blastomere membentuk bola kecil yang padat dan disebut morula.

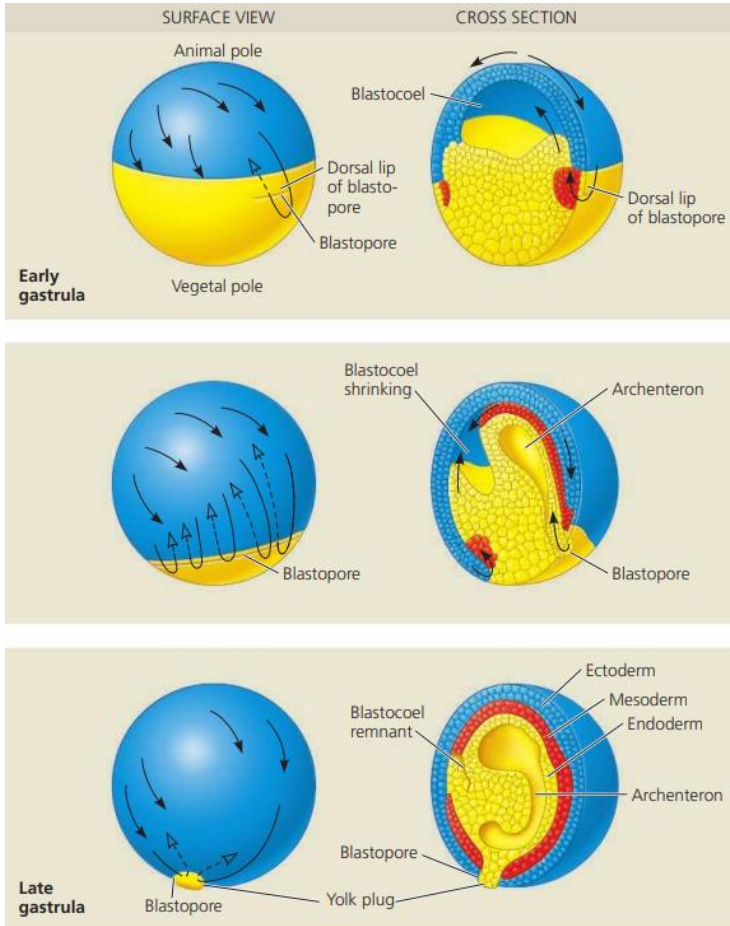
1.4.3 Tahap Blastulasi

Tahap blastulasi adalah tahap dalam perkembangan hewan di mana morula, yaitu struktur padat yang terdiri dari beberapa sel yang belum terdiferensiasi, mengalami transformasi menjadi blastula. Tahap blastula ditandai dengan pembentukan sebuah rongga di tengah-tengah sel-sel morula yang disebut blastocoel.

Sel-sel pada morula akan mengalami perubahan sehingga membentuk lapisan sel-sel yang disebut trofoblas dan sel-sel inderm. Selanjutnya, pada tahap blastulasi, sel-sel inderm yang berada di tengah-tengah struktur morula mulai membentuk rongga di dalamnya, membentuk struktur yang disebut blastocoel. Dengan demikian, sel-sel inderm membentuk lapisan dalam yang akan menjadi bagian dari organ dalam hewan yang akan terbentuk nantinya, sedangkan trofoblas membentuk lapisan luar yang berfungsi sebagai pelindung. Blastula adalah bola sel yang belum memiliki diferensiasi.

1.4.3 Tahap Gastrulasi

Tahap selanjutnya adalah tahapan gastrulasi. Tahap gastrulasi adalah ketika lapisan sel dalam blastula mulai bergerak dan membentuk lapisan-lapisan sel. Lapisan-lapisan sel ini kemudian membentuk bagian-bagian tubuh yang berbeda.



Gambar 1.2 Gastrulasi pada embrio katak
(Sumber : Campbell Biology Twelfth Edition)

Pada tahap gastrulasi, blasula kemudian mengalami invaginasi atau penjepitan pada salah satu sisi, membentuk struktur seperti cangkang yang disebut blastopore. Tahap ini disebut gastrulasi dan membentuk lapisan embrionik yang disebut dengan endoderm, mesoderm, dan ektoderm.

Pada tahap ini, sel-sel inderm pada blastula mulai mengalami gerakan invaginasi dan migrasi, membentuk tiga lapisan sel embrionik yang disebut endoderm, mesoderm, dan ektoderm. Tahap gastrulasi terjadi pada hewan yang mengalami

pembentukan gastrula, seperti pada hewan bertubuh simetris radial dan bilateral, termasuk manusia.

Tahap-tahap gastrulasi diawali dengan adanya pergerakan sel inderm yang menuju ke tengah blastula dan membentuk lipatan pada bagian tepi blastula. Lipatan ini kemudian terus bergerak hingga mencapai bagian lain dari blastula, membentuk lubang di bagian tengah yang disebut blastoporus. Lubang ini merupakan titik awal dari pembentukan saluran pencernaan pada hewan. Terdapat dua tipe gastrulasi yaitu, gastrulasi melalui invaginasi dan gastrulasi melalui epiboli.

Gastrulasi melalui invaginasi:

Pada gastrulasi melalui invaginasi, sel-sel inderm pada bagian tengah blastula mengalami invaginasi atau penekanan ke dalam rongga blastocoel, membentuk dua lapisan sel yang disebut endoderm dan mesoderm. Bagian luar dari blastula tetap membentuk lapisan sel yang disebut ektoderm. Proses invaginasi ini terjadi pada hewan seperti amfibi dan manusia.

Gastrulasi melalui epiboli:

Pada gastrulasi melalui epiboli, sel-sel inderm pada salah satu bagian blastula mulai membelah dan bergerak ke arah sel-sel inderm lainnya, membentuk lapisan sel yang meliputi permukaan seluruh blastula. Sel-sel inderm pada bagian tengah kemudian mengalami invaginasi membentuk endoderm dan mesoderm, sedangkan lapisan sel luar yang menutupi blastula tetap membentuk ektoderm. Proses gastrulasi melalui epiboli ini terjadi pada hewan seperti ikan dan burung.

1.4.4 Tahap Neurulasi

Pada tahap neurulasi ini, lapisan mesoderm dan endoderm mulai membentuk lapisan luar dan dalam dari tabung saraf, serta membentuk sistem saraf dan sistem pencernaan. Tahap neurulasi adalah tahap penting dalam perkembangan embrio hewan vertebrata, di mana sel-sel ektoderm mulai mengalami diferensiasi dan membentuk tabung saraf primer yang

merupakan awal dari sistem saraf pusat pada hewan. Tahap ini terjadi setelah tahap gastrulasi dan sebelum pembentukan organ dan sistem organ.

Proses neurulasi dimulai ketika sekelompok sel-sel ektoderm pada bagian tengah embrio mengalami pembengkakan, membentuk struktur berbentuk pita yang disebut pita neural. Pita neural kemudian terlipat membentuk lipatan yang mengalami penggabungan pada bagian tengah, membentuk tabung saraf primer. Tabung saraf primer ini terus berkembang membentuk sistem saraf pusat yang kemudian berfungsi sebagai pusat pengontrol aktivitas seluruh organ tubuh.

Pada tahap neurulasi, terdapat tiga bagian yang terbentuk, yaitu:

Tabung saraf primer (neural tube):

Tabung saraf primer terbentuk melalui proses penggabungan pita neural pada bagian tengah embrio dan menjadi awal dari sistem saraf pusat pada hewan. Tabung saraf primer kemudian berkembang menjadi otak dan sumsum tulang belakang pada hewan vertebrata.

Crista neuralis:

Crista neuralis terbentuk pada bagian atas dan bawah tabung saraf primer. Struktur ini kemudian berkembang menjadi jaringan saraf perifer dan sistem saraf otonom pada hewan.

Plakoda:

Plakoda terbentuk pada bagian tepi pita neural dan menjadi awal dari organ sensorik seperti mata, telinga, dan hidung pada hewan.

Setelah terbentuknya tabung saraf primer, sel-sel ektoderm yang tidak terlibat dalam pembentukan tabung saraf

primer akan membentuk lapisan epidermis, pembuluh darah, dan tulang rawan pada hewan. Proses neurulasi merupakan tahap penting dalam pembentukan sistem saraf dan organ-organ penting lainnya pada hewan vertebrata, dan kelainan pada tahap ini dapat menyebabkan cacat lahir yang serius pada manusia dan hewan vertebrata lainnya.

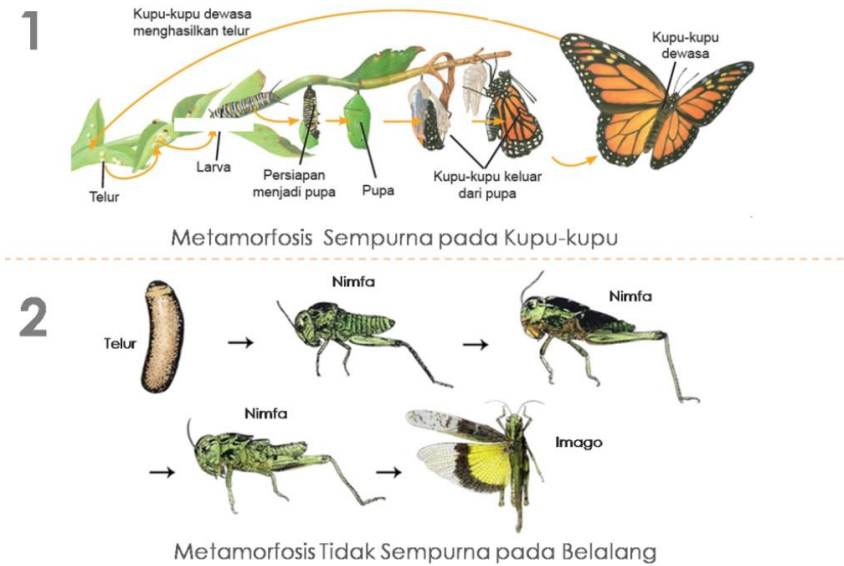
1.4.5 Tahap Organogenesis

Tahap ini adalah ketika jaringan yang telah terbentuk mulai membentuk organ-organ seperti jantung, paru-paru, ginjal, dan hati. Tahap organogenesis adalah tahap dalam perkembangan embrio hewan di mana sel-sel yang telah diferensiasi pada tahap-tahap sebelumnya akan mengalami spesialisasi dan membentuk organ-organ yang spesifik. Tahap ini dimulai setelah tahap neurulasi dan berlangsung hingga akhir periode embrio, di mana organ-organ tersebut akan berkembang menjadi bentuk dan fungsi yang lebih kompleks pada saat organisme dewasa.

Selama tahap organogenesis, sel-sel yang terdapat pada tiga lapisan embrio (ektoderm, mesoderm, dan endoderm) akan membelah dan diferensiasi membentuk organ-organ yang spesifik, seperti otak, jantung, hati, paru-paru, ginjal, tulang, dan otot. Proses ini terjadi melalui beberapa mekanisme seperti proliferasi sel, migrasi sel, diferensiasi sel, dan pembentukan pola organisasi jaringan.

Tahap perkembangan hewan selanjutnya yakni dewasa, kemudian masuk ke fase reproduksi. Fase reproduksi adalah suatu tahapan ketika hewan dewasa mencapai usia dewasa dan siap untuk berkembang biak dan memproduksi keturunan.

Metamorfosis: Beberapa jenis hewan mengalami tahap metamorfosis, yaitu perubahan bentuk dari satu fase ke fase berikutnya. Contoh hewan yang mengalami metamorfosis adalah kupu-kupu, belalang, katak, dan ngengat. Berikut ini adalah gambar metamorfosis sempurna dan metamorfosis tidak sempurna pada hewan.



Gambar 1.3. Metamorfosis pada Hewan
(Sumber : karedok.net)

Setiap tahap perkembangan hewan memiliki proses dan perubahan yang unik dan terjadi sesuai dengan waktu dan kondisi tertentu. Proses perkembangan hewan juga dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan nutrisi. Oleh karena itu, pemahaman yang baik tentang tahap perkembangan hewan sangat penting untuk memahami kehidupan dan ekologi hewan, serta dalam pengembangan teknologi dan aplikasi kesehatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan. (2022). *Jilid 1 Perkembangan Hewan Embriogenesis*. Penerbit Pusat Pengembangan Pendidikan dan Penelitian Indonesia, NTB.
- Adnan, Akhmad Faqih, & Suhardi Aldi. (2022). *Manual Laboratorium Perkembangan Hewan*. Penerbit Pusat Pengembangan Pendidikan dan Penelitian Indonesia, NTB.
- Akmal, Yusrizal dan Mahfud. (2021). *Perkembangan Hewan*. Penerbit Intrans Publishing, Malang.
- Campbell, Neil A, Jane B Reece, dan Lawrence G Mitchell. (2004). *Biologi Edisi Kelima Jilid 3*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Kimbal, John W, H. Siti Soetarmi Tjitrosomo, dan Nawangsari Sugiri. (1988). *Biologi Edisi Kelima Jilid 2*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Pratiwi, Herlina, Aulia Firmawati, dan Herawati. (2019). *Embriologi Hewan*. Penerbit UB Press, Malang.
- Slack, J. M. W. (2019). *Essential Developmental Biology*. John Wiley & Sons, UK.
- Sumarmin, Ramadhan. (2016). *Perkembangan Hewan Edisi Pertama*. Penerbit Kencana, Jakarta.
- Urry, A Lisa, dkk. (2020). *Campbell Biology Twelfth Edition*. Pearson, New York.

BAB 2

ORGAN REPRODUKSI HEWAN

2.1 Organ Reproduksi Hewan Jantan

Pola dasar organ reproduksi hewan jantan adalah sama. Organ reproduksi hewan jantan dapat dibagi menjadi organ reproduksi internal dan eksternal. Akan tetapi, secara umum sistem reproduksi hewan jantan terdiri dari testis, saluran ekskretoris yaitu epididimis, vas deferens, uretra, kelenjar aksesoris (vesikula seminalis, kelenjar prostat dan cowper), deferens dan organ kopulasi (penis) (Adnan, 2008). Walaupun memiliki pola dasar yang sama pada setiap spesies hewan. Namun, beberapa hewan menunjukkan perbedaan orientasi dan keberadaan organ reproduksi. Misalnya letak testis pada berbagai spesies hewan. Begitu juga jenis penis dan penimbunan sperma.

Tabel 2.1 Perbedaan organ reproduksi jantan pada beberapa hewan

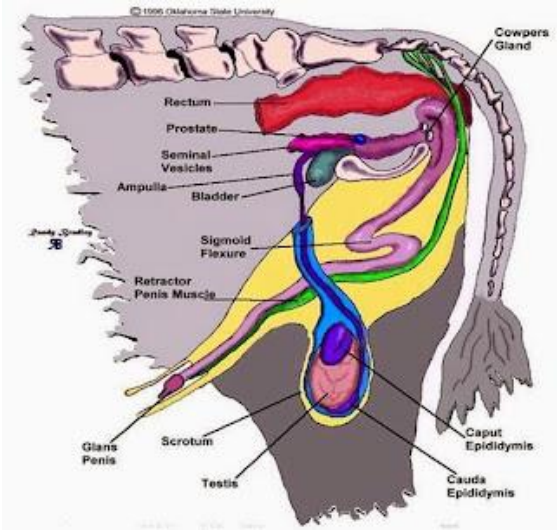
Perbedaan	Sapi, Rusa, Domba	Kuda	Anjing	Kucing	Babi
Orientasi testis	Di bawah cauda ventrikel	Horizontal	Horizontal	Di atas cauda perineal	Di atas cauda perineal
Vas deferens	+	+	±	-	±
Vesikula seminalis	+	+	-	-	+
Cowper	+	+	-	-	++
Prostat	+	+	+	+	+

Perbedaan	Sapi, Rusa, Domba	Kuda	Anjing	Kucing	Babi
Tipe Penis	Sigmoid fibroelastis	Vaskular	Vaskular	Vaskular	Sigmoid Fibroelastis
Deposisi semen	Vagina	Uterus	Vagina	Vagina	Cervic

Sumber: Adnan, 2008

Susunan anatomi organ reproduksi hewan jantan biasanya terdiri dari:

- 1. Organ reproduksi utama adalah gonad atau testis
- 2. Saluran alat reproduksi terdiri dari: epididimis, pembuluh darah, ampula dan uretra; kelenjar aksesori, yaitu, mani atau mani, prostat, dan bulbourethral atau Cowpers.
- 3. Alat reproduksi bagian luar yaitu penis dan kulup serta skrotum (Dellman, 1992).

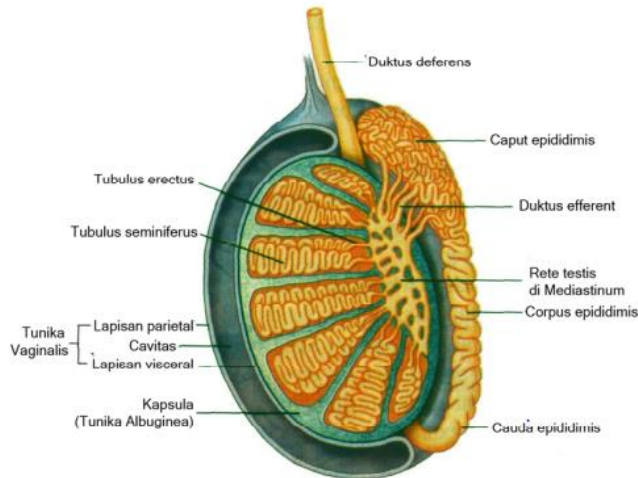


Gambar 2.1. Organ Reproduksi Jantan
Sumber: www.ilmuternak.com

2.1.1 Testis

Testis adalah organ reproduksi utama hewan jantan, seperti halnya ovarium hewan betina. Testis dianggap sebagai organ utama karena menghasilkan gamet jantan (spermatozoa) (Saputro, 2008). Testis terbungkus dalam kapsul berwarna putih

terang (tunica albuginea) yang mengandung banyak serabut saraf dan pembuluh darah yang berkelok-kelok. Di bawah tunika albuginea adalah parenkim, yang memenuhi fungsi testis. Parenkim membentuk saluran berkelok-kelok (Frandsen, 1992).



Gambar 2.2. Testis

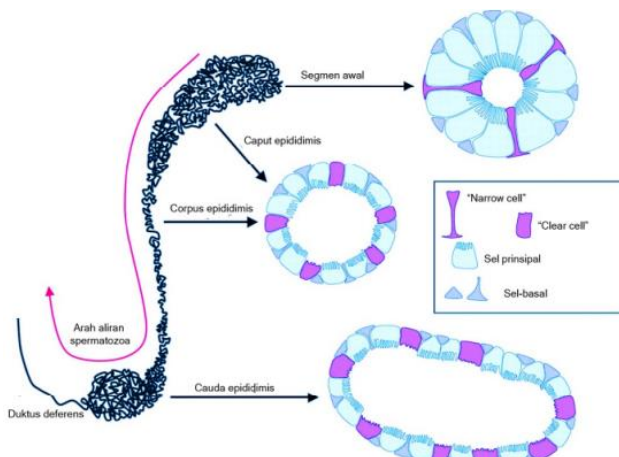
Sumber: www.ilmuternak.com

Di tengah, septum testis berlanjut, dan jaringan ikat terpisah dari septum testis. Pada kuda jantan, epididimis terbatas pada kutub kranial testis, tetapi pada hewan peliharaan biasanya berada di lokasi sentral. Jaringan ikat yang mengisi ruang intertubular mengandung pembuluh darah dan limfatik, fibrosit, sel mononuklear bebas, dan sel interstisial endokrin (sel Leydig) (Dellman, 1992).

Sel leydig adalah sel diantara sel sertoli. Peran sel-sel ini adalah memberikan respons FSH dengan mensintesis dan mensekresi testosteron dengan cara yang bergantung pada dosis. Selain reseptor LH, sel Leydig juga mengandung reseptor prolaktin dan inhibin. Prolaktin dan inhibin memfasilitasi stimulasi aktivasi LH dalam produksi testosteron, tetapi tidak dapat bekerja sendiri-sendiri (Widjanarko, 2011).

Sel sertoli memiliki fungsi khusus dalam proses spermatogenesis. Fungsi sel Sertoli adalah (1) menyediakan lingkungan khusus bagi perkembangan sel germinal. Sel itu mengeluarkan cairan yang melumasi gamet dan juga mengeluarkan cairan tambahan di tubulus seminiferus yang memelihara sperma yang sedang berkembang dan yang baru terbentuk, (2) terlibat dalam konversi sperma menjadi sperma, proses yang disebut spermiasi, (3) mengeluarkan beberapa. hormon yang memiliki fungsi penting antara lain Mullerian Inhibitory Factor (FIM), yang disekresikan oleh testis selama perkembangan janin dan mencegah pembentukan tuba fallopi dari saluran *Mullerian Extradiol* adalah hormon seks wanita yang penting, inhibin, yang merupakan umpan balik sebelumnya dari kelenjar hipofisis mencegah sekresi hormon perangsang folikel yang berlebihan (Dellmann, 1992).

2.1.2 Epididymis



Gambar 2.3. Epididimis dan sel-sel penyusunnya
Sumber: repository.unmul.ac.id

Epididimis adalah tabung panjang berliku yang menghubungkan pembuluh darah di testis ke vas deferens. Panjang totalnya 5-7 meter. Epididimis terdiri dari tiga bagian, yaitu: caput, corpus dan cauda epididimis. Epididimis ditutupi

oleh lapisan tipis tunica vaginalis propria dan tunica albuginea. Secara mikroskopis, epitel epididimis terdiri dari dua jenis sel utama, yaitu sel utama dan sel bening. Distribusi kedua jenis sel ini bervariasi dari satu spesies ke spesies lainnya. Selain kedua jenis sel ini, komponen seluler yang menyusun epididimis adalah sel basal dan “narrow cells”. Setelah sperma matang di testis, mereka diangkut ke epididimis. Sperma yang kurang bergerak di bagian epididimis ini membutuhkan motilitas dan kemampuan untuk membuahi. Epididimis memiliki empat fungsi utama yaitu transportasi, penyimpanan, pemasakan, dan pemadatan (konsentrasi) sperma (Frandsen, 1992).

2.1.3 Vas Deferens

Vas deferens (cauda epididymis) adalah tabung berotot yang mengangkut sperma dari epididimis ke vas deferens di uretra prostat selama ejakulasi. Vas deferens meninggalkan ekor epididimis bergerak melalui kanalis inguinalis, yang merupakan bagian dari korda spermatika, dan berputar ke belakang di cincin inguinalis interna, memisahkan pembuluh darah dan saraf dari korda umbilikalis. Kedua pembuluh tersebut kemudian mendekati uretra, bergabung, dan kemudian dorso-kaudal ke kandung kemih dan dalam lipatan peritoneum yang disebut lipatan urogenital (genital), yang dapat dibandingkan dengan ligamen lebar betina (Frandsen, 1996).

Vas deferens mengangkut sperma dari epididimis ke uretra. Dindingnya mengandung otot polos, yang penting dalam mekanisme pengangkutan air mani selama ejakulasi. Diameternya 2 mm dan konsistensinya seperti benang kekuningan. Di dekat tubuh epididimis, pembuluh darah diluruskan dan bersama dengan pembuluh darah dan limfatik serta serabut saraf, membentuk korda spermatika, yang mengarah melalui saluran inguinalis ke rongga perut. Ampulla pada sapi memiliki panjang 10-14 cm dan diameter 2-2,5 cm. Tidak ada bola lampu untuk anjing, babi, dan kucing. Ampulla

tidak terdapat pada anjing, babi kecil dan kucing (Widjanarko, 2011).

Fungsi vas deferens adalah untuk mengangkut sperma dari ekor epididimis ke uretra. Dindingnya mengandung otot polos, yang penting dalam mekanisme pengangkutan semen selama ejakulasi. Diameternya bisa mencapai 2 mm, panjang 5-10 cm dan di dekat ekor epididimis teksturnya berserabut, vas deferens berliku-liku dan sejajar dengan tubuh epididimis. Vas deferens lurus di dekat kepala tulang belakang dan, bersama dengan pembuluh darah dan limfatik serta serabut saraf, membentuk funiculus spermaticus, yang mengarah melalui saluran inguinalis ke rongga perut. Dua vas deferens yang berdekatan di atas kandung kemih menebal dan secara bertahap meluas ke ampula duktus deferens (Frandsen, 1996).

2.1.4 Urethra

Uretra adalah saluran yang menghubungkan kandung kemih dengan alat kelamin. Uretra adalah saluran di mana urin dikeluarkan setelah urin dikumpulkan dan disimpan di kandung kemih. Uretra betina biasanya lebih pendek daripada jantan. Pada jantan, uretra memiliki dua fungsi: mengeluarkan urin dan sperma (Widjanarko, 2011).

2.1.5 Kelenjar Vesikula Seminalis

Pada sapi kelenjar ini sepasang, berlobus jelas dan terletak di lipatan urogenital lateral dari ampula. Kelenjar vesikularis pada tiap spesies berbeda. Pada sapi, panjangnya 10-15 cm dan diameter 2-4 cm. Saat ada sayatan, kelenjar berwarna kekuningan ini biasanya menonjol dari permukaan sayatan. Pada sapi, kelenjarnya berlobus, dengan septa berotot yang kuat di antaranya. Saluran sekretoris spiral dan bercabang memiliki diameter 0,3 mm dan terletak di tengah. Sekresi kelenjar ini pada postmortem berupa cairan keruh dan lengket. Sekresi tersebut mengandung protein, kalium, asam sitrat, fruktosa, dan beberapa enzim dalam konsentrasi tinggi pada kisaran pH 5,7-6,2. Sekresi kelenjar ini mencapai 50% dari volume ejakulasi

normal pada sapi (Partodiharjo, 1987). Sekresi ini kaya akan fruktosa, yang berfungsi sebagai sumber energi untuk ejakulasi sperma (Dellman, 1992).

2.1.6 Kelenjar Prostat

Kelenjar Prostat adalah kelenjar tubulo-alveolar yang berkembang dari epitel uretra pelvis. Secara topografi dipisahkan dua bagian; bagian padat atau bagian luar (*corpus prostat*), dan bagian yang menyebar atau bagian dalam (*pars disseminata prostatae*) kelenjar. Bagian luar hanya menutupi bagian belakang. Pars disseminata terletak di submukosa yang tepat dari uretra pelvis (Dellman, 1992).

Kelenjar sapi ini terletak di sekitar uretra dan terdiri dari dua bagian, yaitu badan prostat (*Corpus prostatae*) dan prostat disseminata atau prostata yang kriptik (*pars disseminata prostatae*). Sapi memiliki sepasang kelenjar prostat yang bulat dan jauh lebih kecil, dengan panjang 2,5–4 cm dan tebal 1,0–1,5 cm. Pars disseminata mengelilingi uretra pelvis panjangnya 10–12 cm, dan ditutupi oleh otot uretra. Sekresi kedua bagian ini melewati saluran kecil dan banyak di antaranya bermuara ke uretra (Partodiharjo, 1987).

Pada domba dan kambing, kelenjar ini tidak mempunyai korpus tetapi hanya ada pars disseminata yang berdifusi dengan sebagian besar urethra pelvis. Sekresi prostat melalui beberapa lubang kecil ke dalam uretra. Kelenjar ini tidak berkembang pada sapi seperti pada primata. Proporsi sekresi prostat dalam total volume ejakulasi bervariasi tergantung pada spesiesnya. Pada ruminansia 4-6%, pada kuda jantan 25-30% dan pada babi hutan 35-60%. Salah satu fungsi prostat adalah menetralkan dan mengasamkan plasma mani dengan mengumpulkan metabolit karbon dioksida dan asam laktat serta merangsang gerakan aktif sperma saat ejakulasi (Dellman, 1992).

2.1.7 Kelenjar Cowper

Terdapat sepasang, bulat dan kompak, berselubung tebal dan pada sapi lebih kecil daripada kuda yang berukuran 2,5–5 cm. Kelenjar ini terletak diatas urethra dekat jalan keluar dari cavum pelvis. Bersifat sebagai kelenjar tubulus majemuk (babi, kucing, dan kambing jantan), atau tubuloalveolar (kuda, sapi dan domba jantan), anjing tidak memilikinya (Dellman, 1992).

Saluran setiap saluran bergabung membentuk saluran sepanjang 2-3 cm. Kedua saluran kelenjar ini memiliki bukaan kecil yang terpisah di tepi lipatan mukosa uretra.. Kelenjar Cowper, pada sapi letaknya lebih ke kaudal, yaitu pada belokan di mana urethra melengkung ke bawah saat uretra keluar dari pelvis. Cairan yang menetes dari preputium sapi sebelum ditunggangi merupakan sekresi kelenjar sapi, yang kemungkinan memiliki fungsi untuk membersihkan dan menetralkan uretra dari sisa urin dan kotoran lain sebelum ejakulasi. Keasaman kedua sekresi bervariasi antara 7,5 dan 8,2 (Frandsen, 1996).

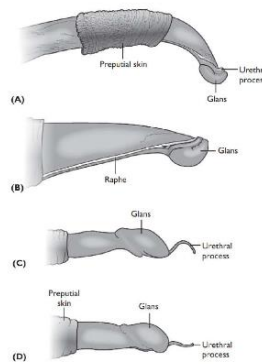
Hasil sekresi seperti protein dari lendir dan kelenjar bulbourethral dikeluarkan sebelum ejakulasi pada ruminansia, mereka memiliki efek menetralkan lingkungan uretra dan melumasi uretra dan vagina. Pada babi jantan, sekresi mukus yang kaya akan asam sialat (sialic acid) merupakan bagian dari ejakulasi (15-30%) dan dapat membantu menutup serviks untuk mencegah kehilangan meni (Dellman, 1992). Sebelum kopulasi, sering terlihat adanya tetesan-tetesan cairan dalam penis yang berasal dari cowper. Semua kelenjar adrenal adalah aprocrine, yang artinya: sebagian besar isi sel sekretori juga ikut keluar pada saat sel mengeluarkan sekretnya (Partodiharjo, 1987).

2.1.8 Penis

Penis memiliki fungsi ganda yakni pengeluaran urine dan mengantarkan sperma ke dalam saluran reproduksi betina. Penis terdiri atas bagian akar, badan dan ujung yang berakhir pada glans penis. Penis terdiri dari akar, badan dan ujung yang berakhir di kelenjar. Penis memanjang dari arcus ischiadicus

pelvis sampai ke daerah umbilikal pada dinding ventral perut yang ditunjang oleh fasia penis dan kulit. Di depan skrotum penis terletak di dalam preputium. Bagian ujung penis disebut glans penis terletak bebas di dalam preputium (Adnan, 2008).

Beberapa jenis kelenjar penis yang berbeda pada beberapa hewan ditunjukkan pada Gambar 2.5. Penis terdiri dari jaringan ereksi yang relatif besar dan ditutupi oleh penutup berserat putih tebal, tunica albuginea. Di bagian ventral terdapat corpus cavernosum urethrae, suatu struktur yang relatif lebih kecil yang mengelilingi urethra. Pada bagian glans penis kedua corpus tersebut bersatu dan disebut sebagai corpus fibrosum. Kedua corpora cavernosa bersifat seperti spons dan terbagi atas rongga-rongga yang dapat dianggap sebagai kapiler-kapiler yang sangat membesar dan bersambung dengan venae penis (Hafez & Hafez, 2002).



Gambar 2.4. Glans Penis pada beberapa hewan

Sumber: docplayer.info

Glans penis mengandung banyak serabut saraf dan ujung saraf yang muncul dari dorsal penis, cabang dari n.pudenda. Mamalia memiliki dua jenis penis, yaitu jenis serat elastis yang terdapat pada sapi, kerbau, kambing, domba, dan babi (Hafez & Hafez, 2002).

2.1.9 Scrotum

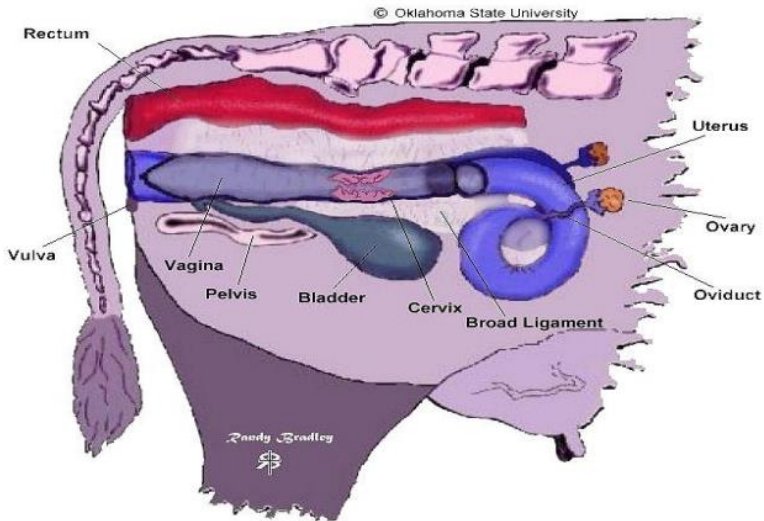
Skrotum adalah kantong kulit yang ukuran, bentuk, dan lokasinya sesuai dengan testis yang dikandungnya. Kulit skrotum tipis, lembut dan relatif tidak berbulu. Jaringan fibroelastik yang bercampur dengan serat otot polos disebut tunica dartos yang berada di bawah kulit dan pada cuaca dingin serat otot dartos berkontraksi dan membantu mempertahankan posisinya pada dinding perut. Tunica dartos melintasi bidang median antara dua testis dan membantu membentuk skrotum, yang secara lateral membagi skrotum menjadi masing-masing testis (Frandsen, 1996).

Fungsi utama skrotum adalah menyediakan testis dengan lingkungan yang 1-8 °C lebih dingin dari suhu rongga tubuh. Fungsi ini dapat dicapai dengan mengatur sistem otot ganda yang menarik testis lebih dekat ke dinding tubuh untuk menghangatkan testis atau membiarkan testis menjauh dari dinding tubuh agar tetap dingin. Dengan kata lain, fungsi skrotum adalah mengatur suhu testis dan epidermis agar tidak terlalu rendah dengan suhu tubuh (testis termoregulator) (Widjanarko, 2011).

2.2 Organ Reproduksi Hewan Betina

Susunan anatomi organ reproduksi betina pada umumnya terdiri dari:

1. Organ reproduksi utama: gonad atau ovarium
 2. Saluran reproduksi yang terdiri dari tuba falopii, uterus, serviks dan vagina
 3. Alat kelamin luar, terdiri dari vulva dan klitoris
- (Partodihardjo, 1984)



Gambar 2.5. Organ Reproduksi Wanita

Sumber: <http://erepo.unud.ac.id/>

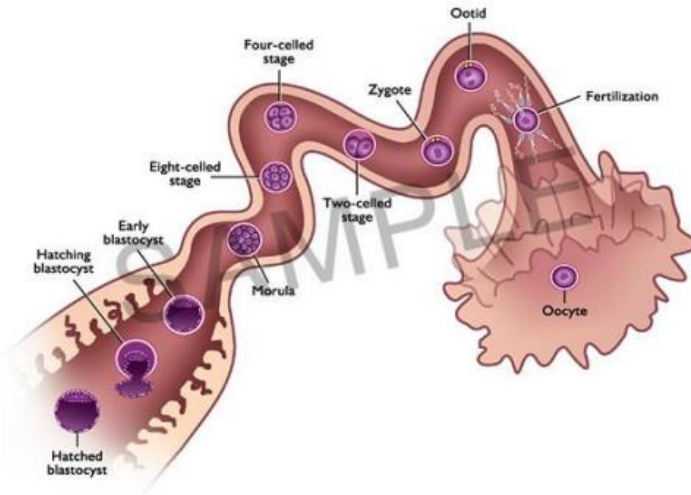
2.2.1 Ovarium

Ovarium adalah sepasang (kiri dan kanan), merupakan organ reproduksi primer yang bersifat eksokrin karena menghasilkan sel telur (ovum) dan bersifat endokrin karena menghasilkan hormon reproduksi berupa estrogen dan progesteron. Bentuk dan ukuran ovarium bervariasi tergantung dari spesies hewan dan fase dari siklus estrus. Pada sapi, kambing dan domba, ovarium berbentuk oval sedangkan pada kuda ovarium berbentuk seperti ginjal karena adanya rongga ovarium (Pemayun, 2010).

2.2.2 Tuba Fallopii (Oviduct)

Fungsi tuba fallopi adalah untuk menampung sel telur yang telah diovulasikan, media transport bagi spermatozoa untuk mencapai tempat fertilisasi, media transportasi sperma untuk mencapai tempat pembuahan, tempat bertemunya sel telur dan sperma untuk membentuk zigot, dan tempat awal perkembangan zigot. sebelum. Zigot mencapai tempat

implantasi di dalam rahim. Tuba falopi terdiri dari tiga bagian yaitu infundibulum, ampulla dan isthmus (Toelihere, 1985).



Gambar 2.6. Tuba Fallopii (Oviduct)
Sumber: Oklahoma University, 1997

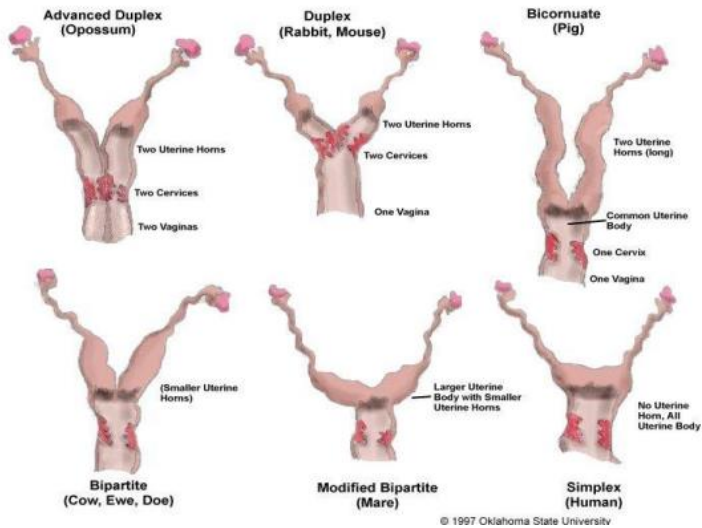
2.2.3 Uterus

Secara umum uterus terdiri dari bagian cornua, corpus dan cervix. Tipe uterus bervariasi berdasarkan spesies hewan. Pada sapi, domba dan kuda tipe uterus adalah bipartite, pada babi tipe bicornua, pada primate termasuk manusia tipe uterusnya adalah simpleks. Secara histologis dinding uterus (bagian corpus dan cornua) terdiri dari tiga bagian yaitu:

1. Membrana Serosa
Lapisan terluar dari uterus yang terdiri dari pembuluh darah dan lapisan otot longitudinal.
2. Myometrium:
Bagian muskulatur uterus tersusun atas dua lapisan otot polos, yaitu lapisan dalam otot sirkular yang tebal dan lapisan luar otot longitudinal yang tipis, di antara kedua lapisan otot tersebut terdapat pembuluh darah, lymphed and saraf.

3. Endometrium

Lapisan rongga rahim, yang terdiri dari lapisan epitel, lapisan kelenjar, dan jaringan ikat (Pemayun, 2010).



Gambar 2.7. Tipe uterus beberapa jenis hewan

Sumber: <http://erepo.unud.ac.id/>

Uterus memiliki fungsi dan peran penting dalam reproduksi embrio, yaitu:

1. Sebagai alat untuk mengangkut sperma dan menyimpan sementara sperma ke tempat pembuahan di tuba falopi, memfasilitasi kontraksi miometrium. Sedangkan endometrium berperan dalam kapasitas sperma.
2. Regulasi fungsi korpus luteum melalui pelepasan prostaglandin
3. Inisiasi implantasi dengan menyediakan nutrisi bagi embrio,
4. Tempat embrio, fetus berkembang
5. Proses persalinan (partus) melalui kontraksi miometrium mendorong keluar janin, dan setelah lahir uterus melengkung untuk persiapan kehamilan berikutnya (Toelihere, 1985).

2.2.4 Cervix

Cervix atau leher rahim adalah organ berbentuk silinder berotot yang dapat berkontraksi dan relaksasi. Ada bagian terbuka di leher rahim yang memungkinkan lewatnya sperma dan darah menstruasi. Serviks adalah organ yang terdiri dari jaringan otot ikat dan otot polos. Secara struktural, serviks seperti sfingter yang terhubung ke vagina. Dinding serviks tebal dan lumen cenderung berkerut. Setiap jenis memiliki struktur dan ukuran serviks yang berbeda. Pada ruminansia, serviks tampak tertutup karena memiliki cincin penghubung. Pada babi, cincin serviks seperti pembuka botol karena sesuai dengan bentuk ujung spiral penis hewan jantan. Berbeda pada kuda, leher rahim kuda membentuk lipatan dan pembengkakan hingga ke vagina (Partodihardjo, 1984).

Serviks biasanya tertutup setiap saat, tetapi terbuka selama estrus saat relaksasi dan memungkinkan sperma masuk ke dalam rahim. Mukus yang dikeluarkan dari serviks keluar melalui vulva. Kualitas mukus serviks juga berubah selama siklus estrus di bawah pengaruh hormon estrogen dan progesteron. Selama estrus dan ovulasi, dan ketika kadar hormon estrogen tinggi, kekentalan mukus berkurang tetapi volumenya meningkat. Ini memfasilitasi lewatnya sperma. Di sisi lain, selama fase luteal, saat kadar progesteron tinggi, lendir serviks menjadi kurang padat dan kental sehingga mencegah masuknya sperma (Toelihere, 1985).

Secara umum, fungsi serviks adalah:

1. Pengangkutan sperma, mekanisme yang mempengaruhi hormone
2. Proteksi dan seleksi sperma, adanya lipatan mukus menyebabkan sperma yang kualitasnya tidak baik akan terjat, dan hanya sperma berkualitas baik yang masuk ke dalam rahim.
3. Bertindak sebagai penghalang antara rahim dan bagian luar serta mencegah masuknya mikroorganisme dari lingkungan luar. Mekanisme penghalang dibuat dengan mengubah ketebalan mukus dan mekanisme penguncian cincin serviks

4. Berperan dalam proses kelahiran (partus), yaitu saat persalinan serviks melebar untuk memungkinkan janin terdorong keluar (Partodihardjo, 1984).

2.2.5 Vagina

Vagina adalah organ kelamin betina berupa selaput otot yang terletak di dalam rongga pelvis dan terletak di bagian dorsal kandung kemih. Dinding vagina terdiri dari tiga lapisan, yaitu lapisan mukosa, otot dan serosa. Ada legokan pada vagina yang disebabkan oleh penonjolan serviks ke dalam vagina dan disebut fornix vagina. Di bagian posterior vagina terdapat lapisan melingkar yang melintang dan berbatasan dengan vulva, lapisan ini disebut hymen (selaput dara). Selaput ini robek setelah hewan mengalami penetrasi (perkawinan) pertama kali, tetapi juga tidak dapat robek karena tebal atau penis tidak dapat merobek, oleh karena itu disebut hymen imperforate. Vagina berfungsi sebagai organ kopulatoris dan sebagai jalan keluar bagi janin saat melahirkan (Hafez & Hafez, 2002).

2.2.5 Alat Kelamin Luar

Alat kelamin luar dibagi menjadi vestibulum dan vulva. Vulva terdiri dari labia mayora, labia minora, commisura dorsalis dan ventralis, serta klitoris. Pertemuan antara vagina dan vestibulum ditandai dengan pembukaan uretra eksternal (orificium urethrae externa). Sapi dan babi memiliki kantung buta yang disebut divertikulum suburethral yang terletak di dasar pembukaan uretra. Saat melahirkan, ruang depan bertindak sebagai dasar untuk semua alat kelamin, yang berkontraksi saat janin dikeluarkan (Toelihere, 1985).

Labia atau bibir vulva biasanya selalu berdekatan, tidak terbuka, dan lubang vulva tegak lurus dengan dasar pelvis. Labia minora adalah bibir kecil yang ditutupi jaringan ikat dan mengandung kelenjar sebaceous. Antara alat kelamin luar dan anus adalah perineum, kulit jaringan ikat dan tendon yang bisa sobek saat melahirkan. Commisura ventralis menutupi klitoris,

struktur homolog dan asal embriologi yang sama dengan penis. Klitoris terdiri dari jaringan ereksi yang ditutupi oleh epitel squamous berlapis dan mengandung sejumlah besar ujung saraf sensorik (Hafez & Hafez, 2002).

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan. 2008. *Perkembangan Hewan*. UNM. Makasar: Jurusan Biologi FMIPA UNM.
- Dellmann, B. 1992. *Buku Teks Histologi Veteriner II, Edisi Ketiga*. Yogyakarta: Fakultas Peternakan UGM.
- Frandsen, R. 1992. *Anatomi dan Fisiologi Ternak, Edisi Keempat*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Frandsen, R. D. 1996. *Anatomi dan Fisiologi Ternak. Edisi Keempat*. Penerjemah B. Srigandono dan K. Praseno. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hafez ESE., & Hafez B., 2002. *Reproduction in Farm Animals 7 th Ed*. USA: Lippincott Williams & Wilkin, Philadelphia, Pennsylvania 19106-3621.
- Partodihardjo, S. 1984. *Ilmu Reproduksi Hewan*. Bandung: Penerbit Mutiara.
- Pemayun, TGO., 2010. *Reproduksi Ternak Sapi*. Penerbit Pelawa Sari.
- Saputro. 2008. *Histologi Organ Reproduksi Jantan*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Toelihere, M., T. 1985. *Fisiologi Reproduksi Pada Ternak*. Bandung: Penerbit Angkasa.
- Widjanarko, B. 2011. *Informasi Reproduksi*. www.fisiologi-reproduksi.html diakses pada tanggal 22 Maret 2023 pukul 16.04 WIB

BAB 3

GAMETOGENESIS

3.1 Pendahuluan

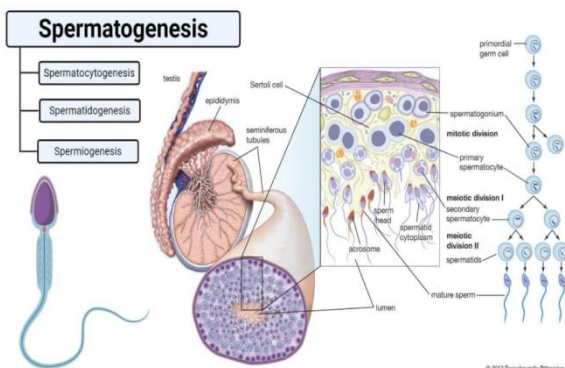
Gametogenesis (gamet = sel kelamin, genesis = pembentukan) adalah proses pembentukkan sel-sel gamet yang terjadi secara meiosis di dalam alat perkembangbiakan. Hasil gametogenesis berupa sel kelamin yang disebut gamet. Gamet jantan dan betina diperlukan untuk membentuk zigot, embrio, kemudian individu baru. Pada hewan dan manusia, gametogenesis terjadi pada testis dan ovarium, sedangkan pada tumbuhan terjadi pada putik dan benang sari.

Hasil gametogenesis adalah sel-sel kelamin, yaitu gamet jantan (sperma) dan gamet betina (ovum atau sel telur). Proses Gametogenesis pada tumbuhan terjadi pada organ reproduksi (bunga). Pembentukan gamet jantan terjadi pada alat reproduksi jantan yaitu kotak spora dan disebut mikrogametogenesis. Sedangkan pembentukan gamet betina terjadi pada alat reproduksi betina (ovarium) dengan istilah megagametogenesis.

3.2 Spermatogenesis

Merupakan proses pembentukkan sperma yang terjadi di dalam testis. Sel kelamin jantan atau spermatozoid (sperma) berbentuk kecil, lonjong, dan berflagel. Flagela tersebut digunakan sebagai alat gerak di dalam medium cair. Organ penghasil sperma disebut testis. Pada mamalia, testis terdapat pada hewan jantan sebagai buah pelir atau buah zakar yang berjumlah sepasang.

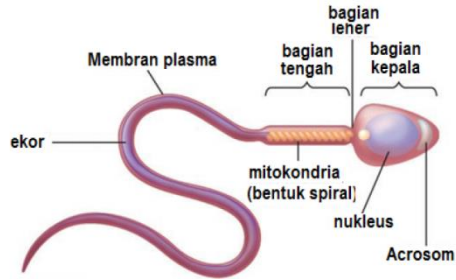
Di dalam testis terdapat saluran-saluran kecil (*tubulus seminiferus*) dan pada dinding saluran sebelah dalam terjadi proses spermatogenesis. Pada bagian tersebut terdapat sel-sel induk sperma yang disebut spermatogonium. Spermatogonium mengalami mitosis menjadi spermatosit primer (sel sperma primer). Selanjutnya, satu spermatosit primer mengalami meiosis I menjadi dua sel spermatosit sekunder (haploid). Tiap-tiap sel spermatosit sekunder mengalami meiosis II sehingga terbentuk 4 sel spermatid yang sama besar, yang haploid. Mula-mula spermatid berbentuk bulat, kemudian tumbuh menjadi sel sperma yang berflagela dan dapat bergerak aktif. Jadi, dari satu spermatosit primer akan dihasilkan dua spermatosit sekunder dan akhirnya berbentuk 4 sel sperma. Tahapan spermatogenesis adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1. Spermatogenesis

Sumber : <https://thebiologynotes.com/spermatogenesis/>

Spermatogenesis berlangsung dalam waktu 74 hari sampai terbentuknya spermatozoa yang fungsional. Spermatozoa akan dihasilkan sepanjang usia sehingga tidak ada batasan waktu, kecuali jika terjadi suatu kelainan/kerusakan yang menghambat produksi spermatozoa pada pria.



Gambar 3.2. Struktur sel sperma

Sumber : <https://www.biologiedukasi.com/2018/04/spermatogenesis-dan-struktur-sel-sperma.html>

3.3 Oogenesis

Merupakan proses pembentukan sel telur/ovum yang terjadi di dalam ovarium. Bentuk ovum lebih besar dari pada sperma dan tidak dapat bergerak (pasif). Sel telur dihasilkan oleh sepasang ovarium atau kelenjar telur, kiri dan kanan. Berbeda dengan testis yang berada di luar tubuh, ovarium berada di dalam rongga tubuh, di sekitar pinggang.

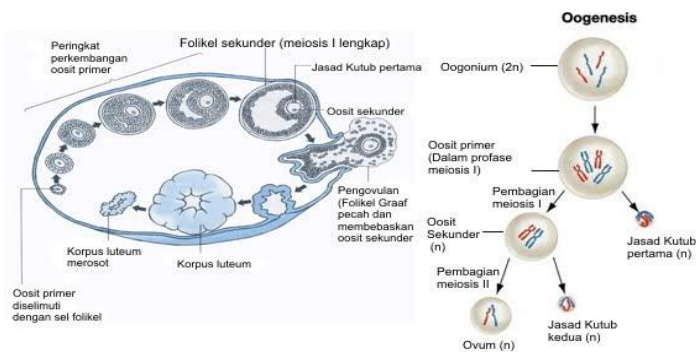
Proses oogenesis dan didahului oleh pembelahan mitosis sel induk ovum (oogonium). Hasil pembelahan adalah oosit primer. Pada proses meiosis I. Oosit primer membelah menjadi dua sel yang tidak sama, yaitu satu sel berukuran besar disebut oosit sekunder dan satu sel lagi berukuran kecil, disebut badan kutub pertama.

Pada proses meiosis II, oosit sekunder (n) membelah menjadi dua sel yang tidak sama besarnya. Satu sel berukuran besar disebut ootid yang mengandung nukleus, kuning telur dan sitoplasma sel. Sedangkan satu sel yang lain berukuran kecil dan hanya mengandung nukleus dan disebut badan kutub kedua. Badan kutub pertama juga mengalami meiosis II membentuk dua sel kecil badan kutub ke dua. Dengan demikian pada akhir meiosis II berbentuk 4 buah sel, yaitu satu sel besar yang disebut

ootid, dan tiga sel kecil yang disebut dengan badan kutub (polosit).

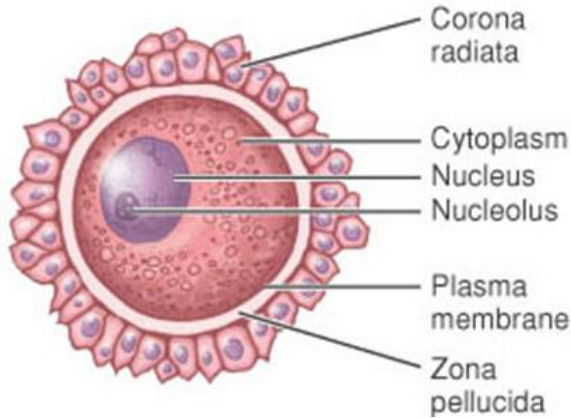
Ootid dapat tumbuh menjadi ovum dewasa tanpa mengalami pembelahan sel lagi. Sementara itu tiga sel badan kutub yang berukuran kecil mengalami degenerasi (penyusutan) dan tidak berfungsi. Sehingga pada akhir proses oogenesis hanya satu tinggal satu sel ovum yang fungsional. Satu sel ovum tersebut mengandung nukleus, kuning telur, sitoplasma, ribosom, dan organel sel lainnya dalam jumlah yang cukup. Keadaan demikian penting untuk proses pertumbuhan zigot kelak dikemudian hari.

Berbeda dengan individu jantan yang dapat mengeluarkan sperma dengan jumlah banyak, individu betina biasanya hanya menghasilkan satu ovum dalam setiap ovulasi. Pada bebarapa mamalia misalnya tikus, kelinci, dan kambing, individu betina dapat menghasilkan ovum lebih dari satu. Ovulasi lebih dari satu dapat terjadi pada ovarium sebelah kiri dan atau kanan atau secara bersamaan.



Gambar 3.3. Oogenesis

Sumber : http://riefbiogameto.blogspot.com/2010/01/oogenesis_21.html



Gambar 3.4. Struktur Ovum

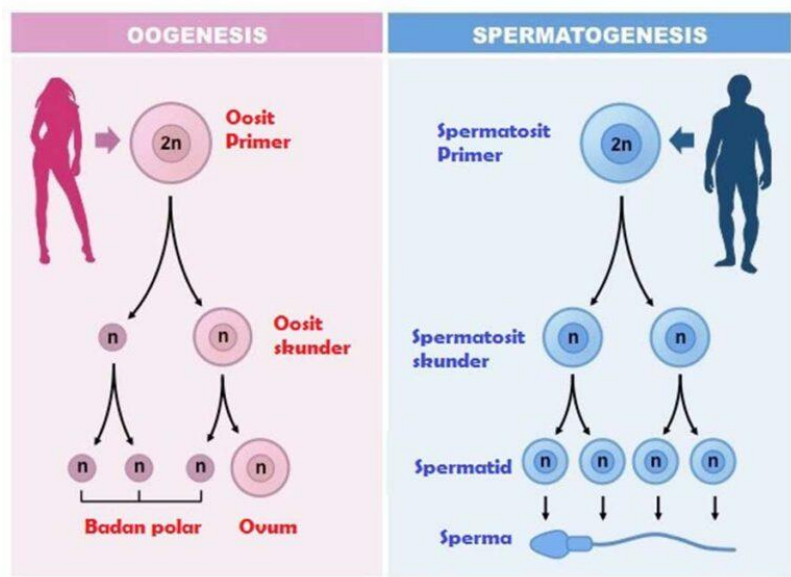
Sumber : <https://jelfiarz.blogspot.com/2012/05/pertanyaan-1.html>

Perbedaan antara Spermatogenesis dengan Oogenesis terletak pada:

1. Jumlah sel anakan yang fungsional
2. Ukurannya
3. Tempat terjadinya

Persamaan antara Spermatogenesis dengan Oogenesis terletak pada:

1. Meiosis
2. Membentuk kromosom haploid
3. Membentuk 4 sel anakan
4. Terjadi pada individu dewasa



Gambar 3.5. Perbedaan Spermatogenesis dan Oogenesis

Sumber : <https://www.pintarnesia.com/perbedaan-spermatogenesis-dan-oogenesis/>

DAFTAR PUSTAKA

- Campbell NA, dkk. 2000. *Biologi*. Edisi Kelima. Jilid 1. 265-267. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Corebima, AD. 2004. *Genetika Kelamin*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Elya Nusantara. 2014. *Genetika Belajar Genetika dengan Mudah & Komprehensif*. Penerbit Deepublish. Yogyakarta.
- Ganong WF. 2003. *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran*. Edisi 20. 515-518. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Gardner, 1991. *Principles Of Genetics Eighth Edition*. New York:
- Harti, Agnes Sri. 2013. *Biologi Medik*. Penerbit Graha Ilmu. Yogyakarta.
- John W. Kimball. 1991. *Biologi*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Juwono, Juniarto, A.Z. 2003. *Biologi Sel*, EGC. Jakarta.
- John Wiley & Sons Nusantara, E. 2012. *Kajian Miskonsepsi Genetika dan Perbaikannya Melalui Perubahan Struktur Didaktik Bahan Ajar Genetika Berpendekatan Konsep di Perguruan Tinggi*. Disertasi. PPS Universitas Negeri Malang.
- Rodhi Hartono dan Rudina Azimata. 2019. *Biologi Sel Dan Genetika*. Pusdik Sumber Daya Manusia Kesehatan, Kemenkes RI.
- Russel, PJ. (1996). *Genetics*. Fourth Edition. Harper Collin College Publishers.
- Yuwono. 2005. *Biologi Molekuler*. Jakarta: Erlangga.

BAB 4

FERTILISASI

4.1 Pengertian Fertilisasi

Istilah fertilisasi atau disebut juga pembuahan merupakan proses bertemunya antara gamet jantan yaitu sperma dengan gamet betina yaitu ovum. Hasil dari proses fertilisasi akan membentuk sel tunggal atau disebut dengan zygot yaitu sel tunggal yang dihasilkan dari penyatuan dua heterogamet (sperma dan ovum) (Fried dan Hademenos, 1999). Khususnya kelompok hewan multiselulair, kehidupan dimulai dengan penyatuan dua heterogamet yang membentuk sel terfertilisasi atau disebut dengan zigot.

Kejadian fertilisasi pada setiap spesies termasuk unik dan bervariasi baik kelompok avertebrata maupun vertebrata. Selain itu, fertilisasi merupakan jembatan antar generasi dengan produk berupa sel tunggal dengan kapasitas yang luar biasa untuk membentuk spesies baru yang unik secara genetis (Hardy, Daniel.M., 2002).

4.2 Macam - Macam Fertilisasi

Menurut prosesnya, fertilisasi dibagi menjadi dua macam yaitu fertilisasi internal dan fertilisasi eksternal. Berikut penjelasan.

1) Fertilisasi internal

Proses bertemunya sel telur dengan sel sperma yang terjadi didalam tubuh individu betina. Kejadian pembuahan atau fertilisasi internal cenderung hanya mengeluarkan satu sel

telur sedangkan individu jantan mengeluarkan banyak sel sperma. Berikut penjelasan terkait fertilisasi internal, yaitu:

- a. Dilakukan dengan cara individu jantan yang memasukkan sel spermanya didalam tubuh betina. Sel telur berada didalam tubuh hingga sel sperma datang.
- b. Hanya melepaskan satu sel gamet karena proses terjadinya peleburan sel gamet secara terarah yaitu sel sperma akan langsung menuju pada sel telur.
- c. Berlangsung didalam tubuh individu betina.
- d. Fertilisasi terjadi melalui tiga cara yaitu ovipar, vivipar dan ovovivipar.
- e. Peluang keberhasilan terjadinya fertilisasi yang tinggi karena sel sperma langsung menuju sel telur. Hal ini karena embrio hasil pembuahan berada didalam tubuh induknya sehingga terlindungi dari lingkungan luar dan juga predator sehingga aman.
- f. Menghasilkan lebih sedikit keturunan, tetapi memiliki kesempatan hidup lebih tinggi dibandingkan fertilisasi eksternal (*Biology Libre Texts*).
- g. Kelompok individu dapat terjadi pada reptil, aves dan mamalia termasuk manusia dan hewan kelompok mamalia.

2) Fertilisasi eksternal

Proses bertemunya sel telur dengan sel sperma yang terjadi di dalam tubuh individu betina. Kejadian pembuahan atau fertilisasi eksternal, pada individu betina cenderung melepaskan banyak sel telur sedangkan sperma jauh lebih banyak dilepaskan dari individu jantan. Beberapa hal terkait fertilisasi eksternal, yaitu:

- a. Dilakukan dengan cara individu jantan dan betina melepaskan masing-masing sel gametnya ke lingkungan secara bersamaan. Setelah fertilisasi terjadi maka dilanjutkan perkembangan embrio terjadi dilingkungan pula.
- b. Berdasarkan prosesnya, kedua individu jantan dan betina melepaskan sel telur (ovum) dan sel sperma

secara bersamaan ke lingkungan. Pembuahan yang terjadi di luar tubuh tersebut berlangsung setelah bergerak dan saling bertemu antara sel telur dan sel sperma. Perkembangan embrio juga akan terjadi dilingkungan tersebut.

- c. Tempat berlangsungnya fertilisasi terjadi diluar tubuh betina pada kondisi lingkungan yang lembab. Lingkungan yang basah dan lembab bertujuan agar sel gamet (sperma dan ovum) tidak mengering dan mampu bergerak bebas hingga bertemu (*Ask a Biologist*).
- d. Kecilnya peluang berhasilnya fertilisasi. Beberapa penyebab diantaranya, (1) karena sel sperma dan sel ovum dilepaskan ke lingkungan sehingga semuanya bertemu dan tidak semuanya mengalami pembuahan. (2) karena adanya predator yang memakan sel gamet maupun zigot. (3) Ketika kondisi lingkungan tercemar, sel gamet akan mati bahkan sebelum terjadinya pembuahan. Hal ini sangat mempengaruhi besar kecilnya kemungkinan keberhasilan fertilisasi.
- e. Individu yang mengalami yaitu (1) amfibi seperti katak dan salamander, (2) pisces seperti ikan, (3) kelompok avertebrata yaitu crustacea seperti kepiting dan udang, selain itu ada kerang.

4.3 Fungsi Fertilisasi bagi Makhluk Hidup

Fungsi fertilisasi bagi makhluk hidup adalah

- a. agar dapat mengaktivasi sel telur agar dapat memulai proses pembuahan.
- b. dapat mewariskan materi genetik dari individu induk kepada keturunannya.
- c. Mengubah jumlah kromosom yang bersifat haploid (n) menjadi diploid ($2n$) kembali.
- d. Dapat digunakan untuk menentukan jenis kelamin anak saat pembuahan terjadi.

4.4 Proses Kejadian Selama Fertilisasi

Fertilisasi adalah perlekatan sperma secara longgar di permukaan zona pelusida. Zona pelusida merupakan dari sel telur mamalia dikelilingi oleh lapisan ekstraseluler tebal. Peristiwa tersebut diikuti oleh pengikatan sperma dengan zona pelusida titik ikatan yang terbentuk sangat spesifik antara tipe-tipe sel telur dengan sperma dan sangat erat dibandingkan dengan fase perekatan yang longgar reseptor pengikatan sperma ada zona pelusida.

Sperma yang melekat lalu menyelesaikan reaksi akrosom yang merupakan proses persiapan penyatuan sperma dengan sel telur yang sesungguhnya. membran terluar dari struktur 2 lapis akrosomal melekat dan berfungsi dengan membran plasma sperma di tempat sepanjang bagian tepi kepala sperma. peristiwa itu berhubungan dengan Tentukan vesikula-vesikula kecil yang mencapai permukaan sperma dan terbukanya membran Agus akrosomal bagian dalam. Reaksi agrosomal melepaskan enzim-enzim hidrolitik yang memungkinkan sperma bergerak melalui zona pelusida menuju sel telur. terowongan yang sangat sempit dihasilkan oleh sperma Selama perjalanan menembus zona tersebut yang mengesankan adanya reaksi cepat dan spesifik pada ujung terdepan sperma yang bermigrasi titik enzim yang memediasi peristiwa ini adalah akrosin. Setelah berhasil melewati zona pelusida, sperma tiba di rongga perih Vitaline yang memisahkan sel telur dengan zona pelusida titik satu sperma mengalami fusi dengan sel telur melalui penyatuan membran akrosomal +terior sperma dengan membran plasma sel telur. Halangan yang terbentuk secara cepat untuk mencegah polis sperma atau fertilisasi satu sel telur oleh lebih dari satu sel sperma maka kemungkinan terjadi akibat perubahan-perubahan potensial listrik pada membran sel telur setelah masuknya sperma. Masuknya sperma mengaktivasi sel telur dan nukleusnya.

Meiosis sel telur selesai dan pronukleus sperma menyatu dengan pronukleus sel telur pada waktu bersamaan. granula kortikal kroma vertikal di bagian tepi sitoplasma sel telur berfungsi dengan membran plasma dan berbagai enzim dilepaskan ke dalam rongga perivitaline. Enzim-enzim itulah yang menyebabkan zona pelusida menjadi kaku dan karenanya hilanglah kemampuan untuk mengikat sperma. zona pelusida yang menjadi kaku menjadi penghalang jangka panjang untuk mencegah polis sperma tetapi buat pada mama testis yang terjadi pada bulu babi sedangkan bulu membran fertilisasi kuat di atas sel telur yang sperma lain akar menjauh.

Fertilisasi pada manusia dimulai dari sel telur manusia dia fertilisasi dalam Tuba Fallopi perempuan titik pembelahan pembelahan awal berlangsung lambat dan menghasilkan plestomer blastomer berukuran serupa tersebut dapat terpisah sehingga terbentuk lebih dari satu embrio. sekitar 5 hari setelah fertilisasi terbentuk semua tahap les pula yang dikenal sebagai pleistosista terdiri atas sebuah lingkaran sel luar yang disebut trofoblas dan massa bulat disebut di sebelah dalam sel yang menggantung ke bawah pada salah satu ujung trofoblas. massa sel di sebelah dalam akan menghasilkan embrio. Trofoblas akan menghasilkan korion dan komponen vertikal plasenta seperti spons. pertukaran gas dan cairan diantara ibu dan anak terjadi dalam plasenta. pada sekitar hari ketujuh, trafoblas tenggelam ke dalam lapisan dalam uterus atau endometrium dan terbentuk penjuluran dari embrio ke uterus. proses tersebut dinamai implantasi segera setelah implantasi terbentuk membran ekstra embrionik.

Kantung kuning telur tidak mengelilingi set kuning telur, karena sel telur mamalia pada umumnya kecil dan relatif tidak mengandung kuning telur hal ini sesuai dengan pola perkembangan internal di mana seorang ibu menyuplai nutrisi. Telur menjadi tempat penyimpanan sel nutfah atau sel jaringan yang nantinya akan menjadi gamet gamet embrio. alantois berkembang menjadi atau frekursor bagi kandung kemih dan

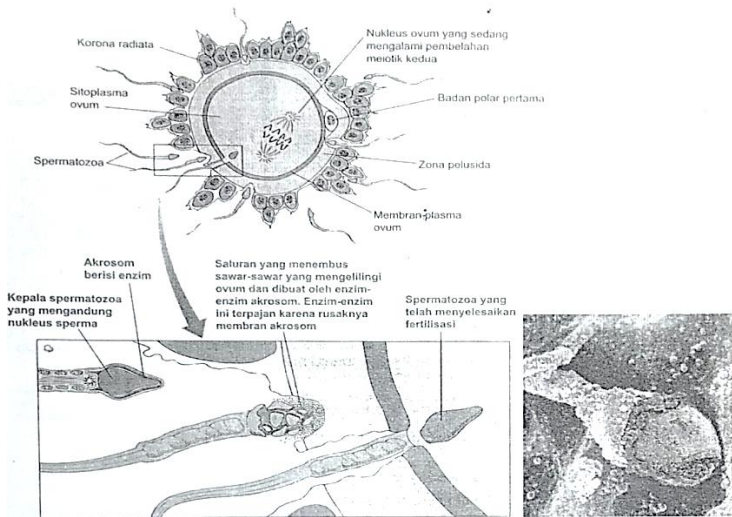
tali pusar, yang menghubungkan embrio ke plasenta. pilih korionik terbentuk sebagai sumbangan embrionik ke plasenta sedangkan amnion berkembang menjadi sebuah ruang terisi cairan tempat embrio tersimpan secara aman. horien juga menghasilkan suatu hormon yaitu gonadotropin horionik manusia atau human horionic gonadotropin HCG inisiasi produksi hormon-hormon pendukung kehamilan di kelenjar-kelenjar Maternal. hormon-hormon tersebut antara lain adalah estradiol dan progesteron. produksi hormon merupakan fungsi dari plasenta pada tes semester kedua kehamilan kehamilan atau prestasi dibagi menjadi tiga bagian pada trimester pertama seluruh sistem utama telah terbentuk di minggu kedua mesoderm terbentuk dan segmentasi menjadi somit-amit terlihat jelas jantung dan tabung saraf telah terbentuk pada Penghujung minggu ketiga setelah 2 bulan embrio terlihat mirip manusia dan kini disebut disebut janin etus. Semester kedua terjadi cukup banyak pergerakan dan aksi-aksi refleks sementara organ-organ semakin berkembang titik terbentuk lapisan penutup sementara dari rambut yang disebut lanuku titik peristiwa-peristiwa utama pada trimester ketiga adalah peningkatan massa dan ukuran tubuh. migrasi dan ekstensi proses saraf terus terjadi sehingga kelahiran atau partisi mendekati akhir trisemester ketiga seluruh pembelahan sel saraf berhenti. serat-serat otot juga berhenti perbanyak diri segera setelah kelahiran. kelahiran berlangsung setelah periode gestasi selama sekitar 270 hari.

Ekor sperma digunakan untuk bergerak bagi penetrasi akhir ovum. untuk membuahi sebuah ovum, sebuah sperma mula-mula harus melewati korona radiata dan zona pelusida yang mengelilingi sel telur. enzim-enzim akrosom yang terpajan ketika membran akrosom pecah setelah berkontak dengan korona radiata memungkinkan sperma membuat saluran seorang protektif. sperma dapat menembus zona pelusida hanya setelah berikatan dengan reseptor spesifik di permukaan Lapisan ini. pengikatan molekul-molekul Mitra Antara sperma dan ovum hanya paru-paru ini ditemukan titik suatu protein

yang disebut dengan fertilin terdapat di dalam membran plasma sperma. Berikatan dengan integrin sel telur, suatu jenis molekul perekat sel yang menonjol dari permukaan luar membran plasma. hanya sperma dari spesies yang sama yang dapat berikatan dengan reseptor sel telur ini dan menembusnya. sperma pertama yang mencapai ovum itu sendiri berfungsi dengan membran plasma ovum. Memicu suatu perubahan kimiawi di membran yang mengelilingi ovum sehingga lapisan luar ini tidak dapat lagi ditembus oleh sperma lain. fenomena ini dikenal sebagai hambatan terhadap polispermia dalam kurung banyak sperma.

Kepala sperma yang menyatu tersebut secara perlahan tertarik ke dalam sitoplasma ovum oleh suatu kerucut tumbuh dan membungkusnya. ekor Sperma sering lenyap dalam proses ini tetapi kepala membawa informasi genetik yang penting. bukti-bukti terakhir menunjukkan bahwa sperma mengeluarkan nitrat oksida setelah berhasil masuk ke dalam sitoplasma sel telur.

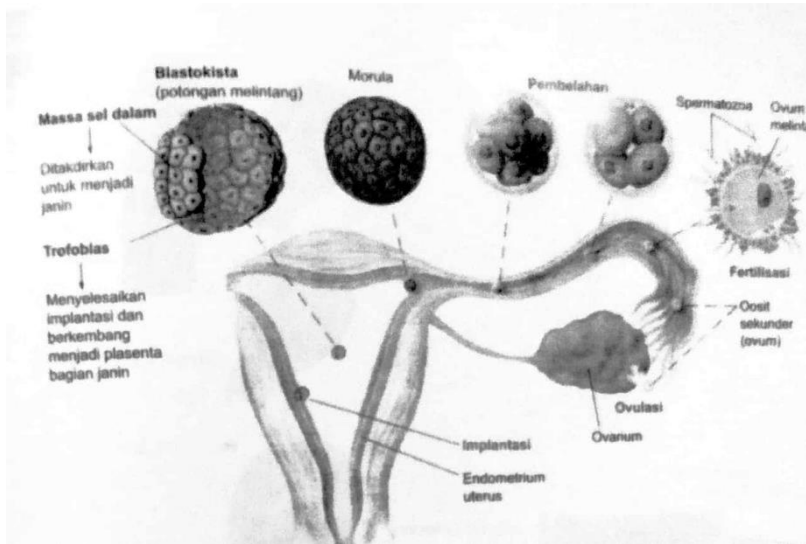
Nitrat oksida ini mendorong pelepasan Ca^{2+} yang tersimpan di dalam sel telur titik pelepasan Ca^{2+} intraseluler ini memicu pembelahan meiotik air oosit sekunder titik dalam satu jam nukleus sperma dan sel telur menyatu berkat adanya suatu Kompleks molekul diberikan oleh sperma yang memungkinkan kromosom pria dan wanita menyatu titik Selain menyumbang separuh dari kromosom ke ovum yang dibuahi yang sekarang disebut zigot. Sperma pemenang ini juga mengaktifkan enzim-enzim ovum yang esensial bagi perkembangan awal mudigah (Sherwood, L. 2007).



Gambar (a)

Gambar (b)

Gambar 4.1. Proses Fertilisasi (a) Gambaran skematik sperma yang menembus sawar-sawar yang mengelilingi ovum. (b) foto mikroskop elektron yang menunjukkan spermatozoa dengan membran akrosom yang telah rusak dan enzim-enzim akrosom yang menyertainya (Sherwood, L. 2007).



Gambar 4.2. Tahap awal terjadinya Fertilisasi hingga implantasi. Menunjukkan bahwa ovum yang dibuahi secara progresif membelah dan berdiferensiasi menjadi blastokista selama bergerak dari tempat terjadinya fertilisasi di tubauterina bagian atas menuju tempat implantasi di dalam uterus (Sherwood, L. 2007)

Selama 3 sampai 4 jam pertama setelah pembuahan sikap tetap berada di dalam ampula karena penyempitan antara ambulan dan saluran tuba uterina sisanya menghambat pergerakan lebih lanjut zigot menuju uterus. Berikut penjelasan setelah terbentuk zigot.

1. Tahap awal di ampula, pada tahap ini zigot tidak tinggal diam. Zigot cepat mengalami sejumlah pembelahan sel mitosis untuk membentuk suatu bola padat sel yang disebut morula. Sementara itu peningkatan kadar progesteron dan dari korpus luteum yang baru terbentuk setelah ovulasi merangsang pengeluaran glikogen dari endometrium ke dalam lumen saluran reproduksi untuk digunakan sebagai energi oleh mudika.

2. Aktivitas Penurunan morula ke dalam uterus

Sekitar tiga sampai 4 hari setelah ovulasi, progesteron diproduksi dalam jumlah memadai untuk melepas konstiksi Tuba uterinea sehingga morula dapat dengan cepat terdorong ke dalam uterus oleh kontraksi baristaltik Tuba uterina dan aktivitas silia. penundaan sementara mudika yang baru terbentuk masuk ke dalam uterus memungkinkan nutrien nutrien terkumpul di lumen uterus untuk menunjang mutika sampai implantasi berlangsung.

Apabila terlalu cepat sampai dia terus maka kemungkinan barulah akan mati. Barulah mengapung bebas di dalam rongga uterus selama 3 sampai 4 hari hidup dari sekresi endometrium dan terus membelah titik selama 6 sampai 7 hari pertama setelah ovulasi, sementara mudika yang sedang berkembang dalam keadaan transit di tuba uterina dan mengapung di lumen Lapisan dalam uterus secara bersamaan dipersiapkan untuk implantasi di bawah pengaruh progesteron fase luteal. selama waktu ini uterus berada dalam fase sekretorik atau fase progesterosional yaitu peningkatan vaskularisasi.

3. Implantasi Blasto geometrium yang telah dipersiapkan

Pada saat endometrium siap menerima implantasi sekitar seminggu setelah ovulasi maka barulah telah turun dan terus berproliferasi diferensiasi menjadi yang dapat melakukan implantasi titik waktu satu minggu setelah sebelum implantasi metrium dan mudika mempersiapkan implantasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Fried H, George dan Hademenos J, George. 1999. Schaum's Outline of Teori and Problems of Biology Second Edition. By The McGraw-Hill Companies. Translate Tyas, D dan Safitri, A. 2006 by Erlangga. Jakarta : Erlangga.
- Sherwood, Lauralee. 2007. Human Physiology: from Cells to System 6Th Ed. Di translate. 2011. Fisiologi manusia: dari sel ke sistem, Alih bahasa: Brahm. U. Pendit: Editor edisi bahasa Indonesia, Nella Yesdelita. Ed.6. Jakarta : EGC.
- Hardy, Daniel.M. 2002. Fertilization. Departement of Cell Biology and Biochemistry Texas Tech University Health Sciences Center Lubbock, Texas. USA: Academic Press.
- Gwatkin, Ralph. B.L. 1977. Fertilization Mechanisms in Man and Mammals. New York and London : Plenum Press.

BAB 5

BLASTULASI

5.1 Pengertian Blastula

Blastula (dari bahasa Yunani *blatos*), yang berarti "tumbuh", adalah bola sel berongga yang dimana terbentuk ketika perkembangan embrio hewan dimulai pada tahap awal. Blastula terjadi pada saat zigot mengalami pembelahan sel. Blastula didahului oleh proses morula dan proses gastula mengikuti urutan perkembangannya. Blastula ditandai dengan adanya rongga (*blastocoel*) di tengah massa padat sel-sel yang mengalami morulasi. Proses pembentukan blastula disebut blastulasi (sumarmin, 2016).

Persebaran *yolk* di setiap macam-macam telur dari suatu spesies mempengaruhi bentukan dari blastula. Beberapa blastula berbentuk bulat, seperti blastula bulu babi (*sea urchin*), *Amphioxus*, *Echinodermata*, dan *Amphibia* dan ada pula yang berbentuk cakram, seperti blastula ikan, reptil, dan burung. Dengan perbedaan struktur blastula, rongga yang terbentuk pun memiliki bentuk yang beragam, ada yang bulat, setengah lingkaran, dan ada pula berbentuk pipih.

Telur yang banyak mengandung *yolk* banyak (*telolesitel*), seperti pada ikan, burung dan reptil tidak ada rongga yang terbentuk di tengah, melainkan terbentuk di bawah kumpulan sel yang membentuk cakram (*blastodisc*). Jadi rongganya berada di antara *blastodisc* dan massa *yolk*. Spratt (1971), menyatakan bahwa rongga yang terletak di antara *blastodisc* dan massa *yolk* adalah *blastocoel*. Namun, sebagian besar penulis mengusulkan bahwa *blastocoel* pada burung adalah rongga yang terbentuk

antara lapisan epiblas dan hipoblas. Jika dikatakan bahwa *blastocoel* adalah rongga yang terdapat pada masa depan embrio sesungguhnya, maka benarlah pernyataan bahwa pada burung *blastocoel* terbentuk antara epiblas dan hipoblas, atau dengan kata lain *blastocoel* terjadi setelah terbentuknya hipoblas.

5.2 Bentuk Blastula

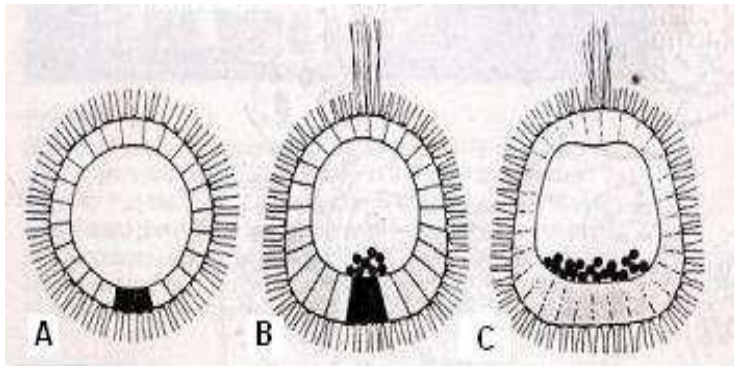
Salah satu tahapan yang mempersiapkan embrio untuk mengatur ulang kembali sejumlah sel hingga ke tahap perkembangan selanjutnya disebut **blastula**. Distribusi telur pada setiap jenis telur suatu spesies mempengaruhi bentuk dari blastula. Blastula biasanya memiliki rongga yang disebut blastocoel (Adnan, 2022). Beberapa jenis blastula dikenal, sebagai berikut:

1. Coeloblastula, ialah blastula bulat, yang dihasilkan oleh telur isolesital dan oligolesital. Contohnya pada *Asterias sp*, Amphibia, synapta dan Amphioxus. Untuk rongga blastula berlokasi pada bagian tengah atau eksentrik ke arah kutub anima.
2. Discoblastula, ialah blastula berbentuk tudung atau piringan. Blastodisk tampaknya berkembang sebagai cakram di atas massa.
3. Yolk, diproduksi oleh telur Telolesital. Misalnya blastula yang dimiliki ayam dan juga ikan zebra. Rongga blastula terbentuk di bagian bawah tudung atau cakram antara blastodisk dan yolk.
4. Blastokista, blastula yang mirip dengan kista. Blastula memiliki massa sel bagian dalam di dalam embrio dan dikelilingi oleh tropoblas. Terbuat dari telur isolesital. Misalnya, blastula yang ada pada mamalia.
5. Stereoblastula, yaitu blastula masif tanpa rongga blastula. Diproduksi oleh telur sentrolesitel. Misalnya blastula pada berbagai jenis serangga.

5.3 Berbagai Jenis Blastula pada Hewan

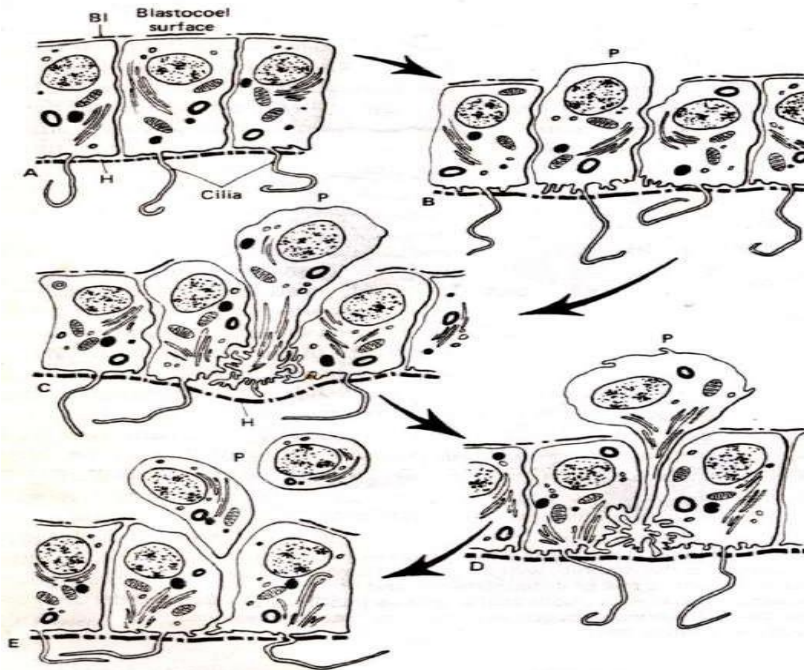
5.3.1 Blastula pada Bintang Laut

Blastula atau coeloblastula bintang laut dihasilkan di stadium 32. Tahap awalnya, blastula memiliki dinding dan silia blastula memiliki lapisan satu sel (tunggal). Sel pada kutub apikal anima. Memiliki ukuran agak kecil disbanding dengan sel di kutub vegetatif. Sel terletak di kutub vegetatif akan berubah menjadi mesenkim primer. Rongga blastosol berukuran besar dan juga terletak di tengah embrio. Pada tahap blastula berikutnya, perubahan terjadi seperti pelepasan sel mikromer di blastocoel.



Gambar 5.1. Bentuk Blastula pada *Asteria sp*

Sumber: Carlson, 1988



Gambar 5.2. Ingresi pada Asterias. (A) Dinding pada Blastula Sebelum Ingresi , (B) Sel Mesenkim Primer {P} Pemanjangan Blastocoel Tidak Sempurna Menembus Lamina Basalis {LB}, (C) pada Ujung Sel terlepas dari Lapisan Hialin {H}, (D) Sel Mesenkim Primer Memisahkan Diri dari Dinding Blastocoel, (E) Sel Mesenkim Terpisah
Sumber: Carlson, 1988

Masuknya sel-sel mikromer ke dalam blastocoel dapat terlihat pada mekanisme berikut:

1. Bagian ujung sel mikromer yang telah memanjang dan dipisahkan dengan lapisan hialin, untuk bagian lateral dipisahkan dari sel vegetatif yang ada pada sekitarnya.
2. Sel yang melintasi lamina basalis menuju blastocoel, pada blastocoel, sel ini mengatur ulang untuk membentuk sel mesenkim primer.

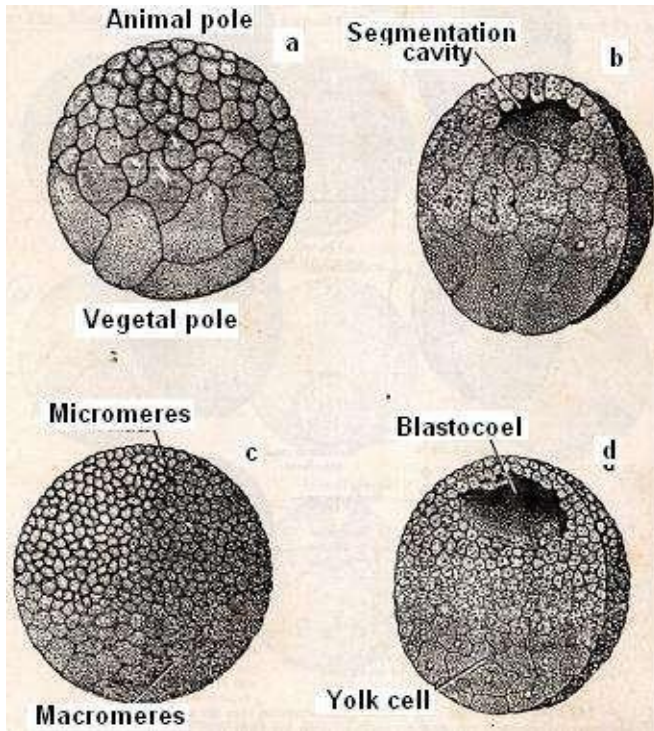
5.3.2 Blastula pada Amphibia

Pada amfibi, tahap blastula dicapai pada tahap 128 sel. Pada tahap ini, rongga blastula (blastocoel) mulai terbentuk. Menurut Kalt (1971), blastula katak terbentuk dari sel-sel yang terdapat pada hewan dan membentuk rongga antar sel yang sempit dan dibatasi oleh tight junction, kemudian membesar dan membentuk blastocoel. Blastula pada amfibi terdapat 3 area berbeda, yaitu:

- a. Bagian area kutub animal meliputi sel yang berbentuk atap blastocoel. Sel ini adalah lapisan masa depan ektoderm. Sel ini berukuran kecil dan disebut sebagai mikromer, dan banyak mengandung butir pigmen.
- b. Daerah yang ada pada sekitar kutub vegetatif terdapat sel yolk dengan ukuran besar merupakan calon sel endoderm yang berisi butir yolk yang banyak.
- c. Wilayah subequatorial terdiri dari sel cincin marginal yang dimana terdapat area kelabu (*grey crescent*). Daerah ini biasanya membentuk sel mesoderm.

Terlihat di blastula katak pada Gambar 5.3 atap blastocoel terdiri dari 2 sampai 4 lapis sel. Bagian bawah blastocoel ialah sel yolk. Rongga blastocoel mendekat menuju kutub animal. Fungsi dari rongga blastula adalah sebagai pembatas interaksi antara sel-sel ektoderm dan endoderm terhadap cincin marginal yang mengelilingi tepi blastocoel. Formasi pembentukan alat pada katak, di mana epiblast menutupi epidermis dan area saraf ektoderm, mesoderm dan notochord. Hipoblas akan menjadi area bakal endoderm berada.

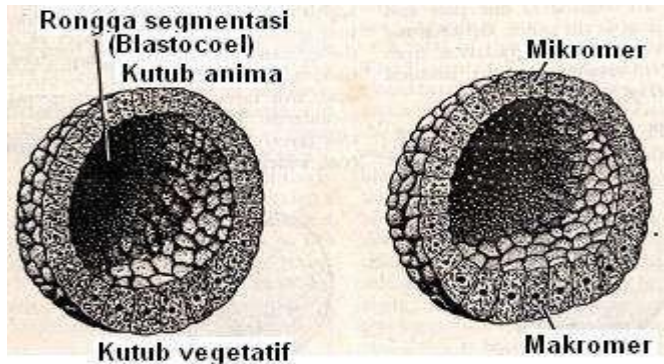
Ektoderm epidermis mengisi sebagian besar area epiblast dalam bentuk bulan sabit yang sangat besar. Bakal ectoderm dan notochord berbentuk bulan sabit, keduanya berdekatan; ektoderm saraf masa depan terletak di atas. Mesoderm bersebelahan dengan notochord, yang kemudian menentukan daerah kiri dan kanan embrio. Endoderm akan mengisi seluruh hipoblas di bawah blastula (Gambar 5.3)



Gambar 5.3. Blastula pada Katak
Sumber: Huettner, 1949

5.3.3 Blastula pada Amphioxus

Pertumbuhan 8 sel dari tahap pembentukan blastula amphioxus, rongga yang terbentuk antara mikromer dan makromer, yang akan semakin jelas terlihat pada sel stadium 64. Rongga ini disebut sebagai rongga blastocoel. Saat tumbuh, rongga akan membesar. Struktur seperti itu disebut blastula, yang akan terbentuk 4-6 jam setelah pembuahan. Pertumbuhan blastula akhir terjadi saat embrio telah mencapai lebih 200 sel.

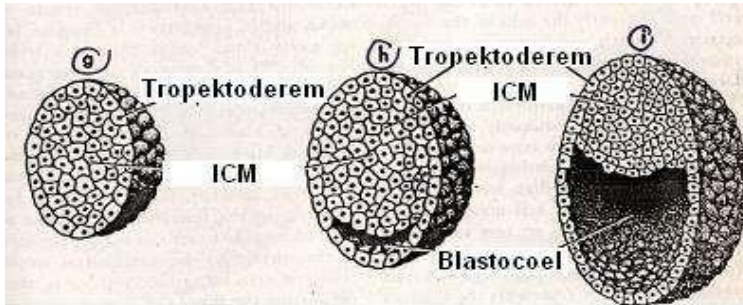


Gambar 5.4. Blastula pada *Amphioxus*
Sumber: Huettner, 1949

5.3.4 Blastula pada Mamalia

Setelah tahap pembelahan akan menghasilkan lebih dari 100 sel, embrio tersebut dapat disebut blastula. Blastula pada mamalia disebut blastocysta. Blastula ini terbentuk dari telur isolesital, di mana yolk-nya sedikit dan merata. Distribusi ini memungkinkan pembelahan terjadi dengan sempurna. Pembelahan pada mamalia holoblastik rotasional. Pada tahap blastomer ke-8 membentuk morula. Morula dibentuk dengan cara kompaksi. Setelah morula mengeluarkan cairan untuk membentuk rongga blastula, embrio sudah berada dalam tahap blastula, yang dikenal sebagai blastosis.

Adanya rongga blastula memungkinkan gerakan morfogenetik untuk mengatur ulang sel embrionik di tahap perkembangan lanjutan, terkhusus tahap gastrula. Untuk mamalia, pembuahan terjadi di ampula tuba falopi. Setelah terbentuknya Zigot akan bergerak menuju rahim sembari membelah. Tahap blastula, Implantasi embrio siap untuk dilakukan. Selama implantasi, terjadi perkembangan blastula dan juga plasentasi terjadi di trophoderm ibu dan jaringan endometrium (Adnan, 2022).



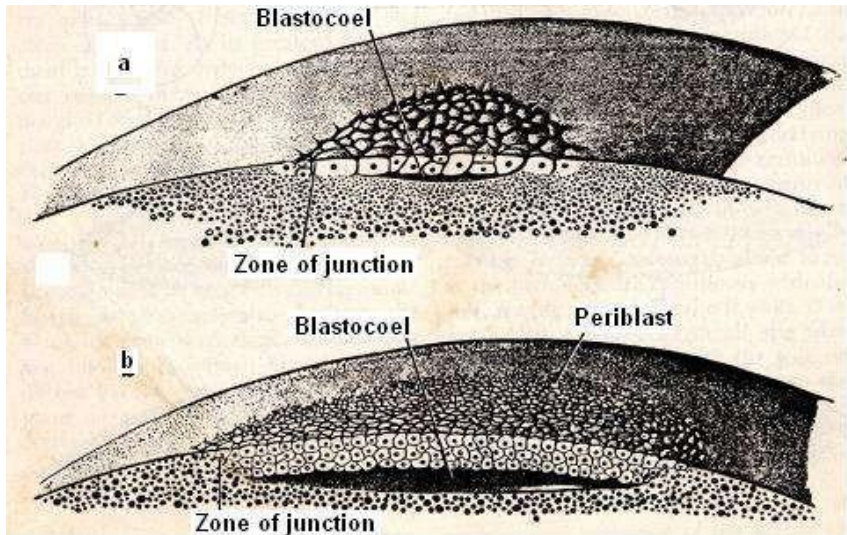
Gambar 5.5. Skema Blastula pada Embrio Mamalia
Sumber: Huettner, 1949

5.3.5 Blastula pada Aves

Blastula aves berbentuk tudung atau cakram. Setelah satu lapis blastoderm terbentuk, blastoderm akan terjadi pembelahan horizontal atau ekuatorial, dengan hasil 3-4 lapis sel. Tahap ini, blastodisk terdiri dari dua area berbeda, yaitu:

- Area pelusida, area yang terlihat bening pada bagian atas rongga subgerminal.
- Area opaka, merupakan area tampak gelap berada yang berada pada tepi blastodisk.

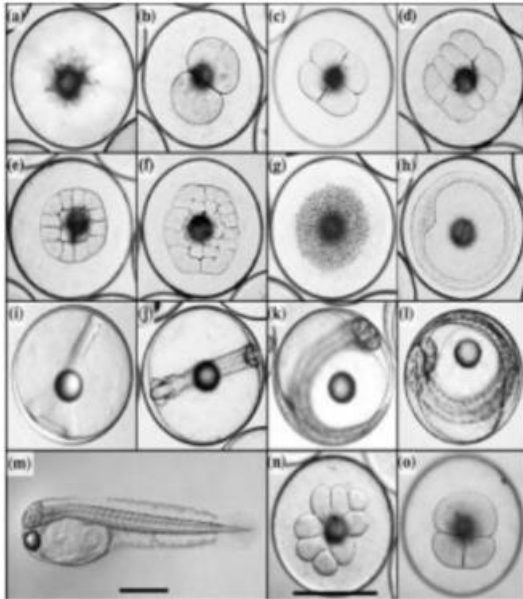
Pada beberapa spesies burung rongga subgerminal ialah rongga blastula. Pada bebek dan ayam, blastocoel akan terbentuk setelah delaminasi blastoderm menghasilkan lapisan bawah sel yang dikenal sebagai hipoblas primer dan lapisan atas sel dikenal sebagai apiblas. Kesenjangan antara epiblast dan hipoblas disebut blastocoel (Balinsky, 1976).



Gambar 5.6. Proses Terbentuknya Rongga Blastula pada Aves
(Sumber: Gilbert, 1985)

5.3.6 Blastula pada Ikan

Secara umum proses blastulasi pada ikan sama dengan pada burung. Ikan memiliki jenis telur megalesital telolesital ekstrim, dimana yolk terkonsentrasi pada kutub vegetal, sehingga membentuk daerah berbentuk cakram pada kutub animal telur. Jenis pembelahan pada ikan disebut pembelahan diskoidal, yaitu pembelahan yang hanya terbagi ke dalam hewan atau daerah yang dikenal dengan blastodisc (keping lembaga) atau plate pada kutub animal. Pembelahan ini tidak sampai ke sitoplasma yang berisi yolk. Blastula pada ikan adalah discoblastula (Gambar 5.7), yaitu blastula membentuk seperti cakram.



Gambar 5.7. Blastula pada ikan

Sumber: sumarmin, 2016

5.3.7 Blastula pada Reptil

Proses blastulasi pada reptil sama dengan proses blastulasi yang terjadi pada burung dan ikan. Reptil memiliki tipe telur megalesital dan tipe belahan diskoidal, yaitu belahan yang hanya terjadi di daerah keping lembaga. Seperti yang sudah dijelaskan pada materi sebelumnya, jenis blastula tergantung dari tipe telur dan pembelahannya. Tipe telur reptil megalesital berarti yolk terkonsentrasi pada satu kutub, membentuk area berbentuk diskus di bagian hewan. Karena yolk menghambat pembelahan, pembelahan hanya terjadi di daerah diskus. Rongga blastocoel juga terbentuk di bagian hewan. Tipe blastula pada reptil adalah discoblastula, yaitu blastula yang berbentuk gepeng di daerah animal.

5.3.8 Blastula pada Insecta

Blastula pada serangga adalah jenis blastula superficial di mana sel-sel blastomer hanya ditemukan di sekitar permukaan embrio, sedangkan bagian dalam blastula terkonsentrasi dengan yolk. Jenis blastula ini berasal dari jenis telur yang memiliki yolk yang terkonsentrasi (centrolesital). Jenis pembelahan serangga ini adalah pembelahan superfisial (Campbell,2004).

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan. 2022. *Jilid 1 Perkembangan Hewan (Embriogenesis)* . Nusa Tenggara Timur: Pusat Pengembangan Pendidikan dan Penelitian Indonesia.
- Balinsky. 1976. *An Introduction to Embryology*. Philadelphia: W.B. Saunders, Co.
- Campbell, Neil A, Jane B Reece, dan Lawrence G Mitchell. 2004. *Biologi Edisi Kelima Jilid 3*. Penerbit Erlangga: Jakarta.
- Carlson, R.M. 1988. *Pattens Foundation of Embryology*. New York: McGraw Hill Books.
- Gilbert, S.F. 1985. *Development Biology*. Massacussetts: Sinauer Ass. Publ. Sunderland.
- Huettner, A. F. 1949. *Fundamental of Comparative Embryology of the vertebrates*. The Mc. Milla Co. New York.
- Spratt, N. T. 1971. *Development Biology*. Belmont, california: Wadsworth Publ Co.Elis.
- Sumarmin. R. 2016. *Perkembangan Hewan Edisi Pertama*. Jakarta: Kencana.

BAB 6

GASTRULASI

6.1 Pendahuluan

Tahap pembentukan blastula, penambahan massa sel masih terus terjadi dengan pembelahan mitosis. Akibatnya sel mendesak ke bawah (ke arah kutub vegetal/vegetal pole) dan terjadilah pelipatan sel ke dalam (invaginasi). Terjadinya invaginasi membentuk sebuah lekukan yang disebut blastopore. Invaginasi ini menandai dimulainya gastrulasi). Gastrulasi adalah pengaturan kembali sel-sel blastula, sehingga blastula akan mengalami transformasi menjadi embrio berlapis tiga (gastrula). Gastrulasi adalah suatu proses yang dinamis, dimana berlangsungnya migrasi sel-sel atau lapisan sel-sel secara terintegrasi yang dilakukan melalui berbagai macam gerakan-gerakan morfogenetik (Adnan, 2012).

Gastrulasi pada amphioxus dimulai ketika blastula terdiri dari 800 blastomer. Gastrulasi diawali dengan memipihnya blastoderm pada kutub vegetal. selanjutnya bagian tersebut mengalami invaginasi yang terus menyorok ke dalam blastocoel. Hal ini menyebabkan embrio berubah bentuk dari bulat menjadi bentuk cawan berdinding rangkap. Akhirnya makromer berdampingan dengan mikromer, dan blastocoels terdesak habis. Lapisan luar merupakan epiblas yang terdiri atas bakal epidermis dan bakal sistem saraf. Lapisan dalam merupakan hipoblas yang terutama akan membentuk saluran pencernaan dan derivat-derivatnya. Bakal notokord dan bakal mesoderm non notokord yang semula terletak pada bagian marginal cawan, akan berinvolusi sehingga berada di sebelah dalam. Rongga yang terbentuk akibat berinvagasinya endoderm dan

berinvolusinya mesoderm disebut gastrocoel atau arkhenteron (usus primitif). Lubang arkenteron yang berhubungan dengan lingkungan luar disebut blastoporus yang dibatasi oleh bibir dorsal, bibir ventral dan bibir lateral. Selanjutnya gastrula memanjang menurut sumbu anteriorposterior, blastoporus makin lama makin mengecil dan terletak pada ujung posterior embrio. Setelah migrasi sel-sel notokord ke arah dalam, epiblas disebut ektoderm dan hipoblas disebut endoderm. Segera setelah lapisan-lapisan lembaga tersusun ke posisi yang seharusnya, yaitu ektoderm pada permukaan gastrula, dan mesoderm serta endoderm di sebelah dalam, tahap perkembangan embrio berlanjut dengan pembentukan bakal-bakal organ primer. Pada bagian dalam embrio, bakal 7 notokord, mesoderm dan usus primitif saling terpisah (Oppenheimer, 1980)

Menurut (Balinsky, 1976) Seiring dengan berlansungnya gastrulasi, juga berlangsung proses diferensiasi. Migrasi sel-sel atau lapisan sel-sel selama gastrulasi di maksudkan untuk:

1. Menempatkan area perspektif endoderem kedalam
2. Membungkus embrio
3. Menampakkan mesoderm diantara endoderm dan ectoderm
4. Membentuk arkenteron, bakal saluran pencernaan primitive

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 bersangkutan untuk melakukan proses diferensiasi. Hasil proses diferensiasi sel tersebut menyebabkan terbentuknya lapisan ectoderm, endoderm dan mesoderm. Ketiga lapisan tersebut dinamakan lapisan lembaga. Karena terbentuk dari lapisan tiga lapisan lembaga maka di sebut sebagai tripoblastik, misalnya pada ayam, sapi dan manusia. Beberapa jenis hewan pada masa perkembangan embriologinya hanya membentuk dua lapisan lembaga yang terbentuk, maka dinamakan dipoblastik, misalnya porifera dan coelenterate. Ketiga lapisan lembaga atas merupakan lapisan lembaga yang bersifat seluler dan pada tahap perkembangan selanjutnya akan

menghasilkan berbagai tipe jaringan atau organ yang menyusun tubuh suatu organism (Adnan, 2012).

6.2 Gerakan Morfogenik

Menurut (Balinsky, 1976), Berbagai jenis gerakan-gerakan morfogenik yang terlibat selama berlangsungnya gastrulasi antara lain:

1. Epiboli adalah pergerakan lapisan ephitellium (ectoderm) membungkus bagian embrio yang lain. Invaginasi adalah pelipatan lapisan dari dalam ke luar misalnya, misalnya pembentukan arkenteron pada amphioxus.
 2. Ingresi adalah migrasi sel-sel secara sendiri-sendiri dari permukaan kedalam misalnya pembentukan masekim primer pada blastula bintang laut.
 3. Involusi yaitu Gerakan membelok dari suatu lapisan luar yang tumbuh meluas sehingga lapisan ini masuk kedalam dan meluas pada permukaan dalam atau pelentikan sel-sel lapisan luar yang menyebar dan masuk ke bagian dalam contohnya Perpindahan lapisan luar yang masuk melalui blastoporus pada amphibian
 4. Evaginasi adalah Penonjolan keluar dari suatu lapisan sel contohnya Eksogastrulasi
 5. Ingresi yaitu Migrasi sel-sel secara individual dari suatu permukaan masuk ke suatu area tertentu contohnya Pembentukan mesenkim primer pada blastula bulu babi
 6. Delaminasi yaitu Pemisahan suatu lapisan sel menjadi dua atau lebih lapisan yang terletak parallel contohnya Pembentukan hipoblast primer pada embrio Aves
 7. Gerakan amoeboid yaitu Gerakan sel-sel secara individual contohnya Migrasi sel-sel pial neural
- Beberapa kejadian-kejadian penting selama berlangsung gastrulasi yaitu;
- a. Reorganisasi sel-sel atau kelompok sel-sel akibat gerakan morfogenik
 - b. Ritme pembelahan sel menurun

- c. Tumbuh tidak nyata, walaupun ada sedikit sekali
- d. Metabolism berubah corak, oksidasi menjadi lebih intensif
- e. Peran inti menjadi lebih aktif dalam mengontrol aktivitas sel embrio. Peran kromosom induk lebih nyata
- f. Sintesis protein-protein baru yang sebelumnya belum terdapat dalam sel telur.

6.3. Jenis Gastrulasi

6.3.1. Gastrulasi Asteries

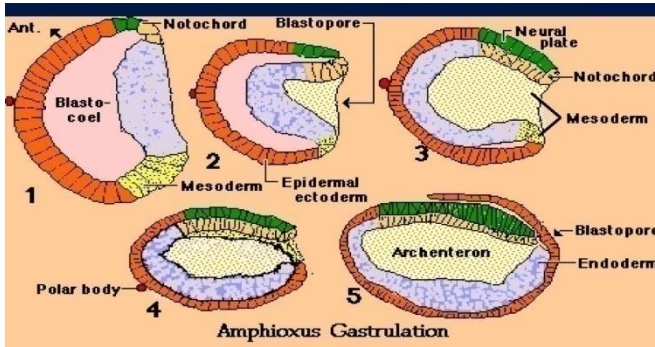
Gastrulasi pada aseries melibatkan gerakan-gerakan morfogenik terutama invaginasi atau pelipatan kedalam. Invaginasi menyebabkan terbentuknya epiblast. Epiblast kelak akan membentuk ektoderem, terutama epidermis dan hypoblast akan menjadi dinding saluran pencernaan. Hasil invaginasi ini juga menyebabkan terbentuknya rongga baru yang disebut rongga gastrocoel atau rongga arkenteron, sedangkan rongga blastula atau blastocoels secara bertahap tereliminasi. Lubang yang menghubungkan arkenteron ke luar disebut blastoporus dan kelak berkembang menjadi anus. Pada puncak hypoblast terlepas sel-sel mesokim sekunder bakal mesoderm kelak akan berkembang menjadi rangka utama (Oppenheimer, 1976)

Pada stadium gastrula lebih lanjut, invaginasi telah berlangsung lebih jauh ke arah kutub animalia dan membentuk keeping animalia yang merupakan tempat tumbuhnya apical tuft atau umbul-umbul silia. Pada saat ini gastrula memiliki tiga macam lapisan lembaga yaitu ektoderem, endoderm dan mesoderem. Pada stadium perkembangan lebih lanjut arkenteron akan menyentuh ectoderm 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 (Oppenheimer, 1976).

6.3.2. Gastrulasi *Amphioxus*

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 mesoderem, sedangkan alasnya adalah sel-sel yolk atau makromer, yaitu bakal lapisan endoderem. Selanjutnya endoderem terbentuk di bawah korda mesoderem dan juga dihasilkan mesoderem lainnya sebagai hasil proliferasi dan migrasi sel-sel endoderem ke atas sel-sel yolk. Akibat peristiwa tersebut, maka atap arkenteron bagian lateral serta alasnya terdiri dari lapisan endoderem yang masih berupa sel-sel yolk. Invaginasi selanjutnya berlangsung pada bagian ventral celah blastoporus. Invaginasi pada daerah ini tidak berlanjut dan blastoporus sekarang berbentuk seperti cincin. Mikromer-mikromer yang mengitarinya sesuai dengan letaknya disebut bibir dorsal, bibir lateral, dan bibir ventral blastoporus. Kini proses gastrulasi menghasilkan embrio dengan tiga lapisan lembaga, yaitu ektoderem, mesoderem, dan endoderem (Wilson, 1893)

Gastrulasi *amphioxus* diawali pada daerah vegetative embrio. Mula-mula kutub vegetative 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 amina. Sementara hal tersebut berlangsung, mitosis berjalan terus diikuti dengan terjadinya pelentikan sel-sel dari luar kedalam melalui tepi blastoporus proses ini disebut involusi melalui invaginasi dan involusi, terbentuk ectoderem. Ectoderem sekarang membungkus embrio secara keseluruhan melalui proses epibola (Browder, 1984)



Gambar 6.1. Tahapan gastrulasi amphioxus

Enam-tujuh jam sesudah pembuahan, terbentuk gastrula yang memiliki struktur terbentuk cangkir, terdiri atas lapisan sel bagian luar yang disebut epiblas yang akan menjadi ektoderem dan lapisan sel bagian dalam atau hipoblas yang akan menjadi mesoderm dan endoderem. Rongga yang dibatasi oleh kedua pertemuan lapisan 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 gastrulasi blastoporus menjadi semakin kecil hingga tampak sebagai suatu lubang sempit yang terbuka atau pori saja (Wilson, 1893)

Aspek penting yang terjadi selama gastrulasi adalah gastrulasi mengalami perubahan polaritas atau rotasi kurang 120 °C, sehingga kutub anima terletak dianterior dan kutub vegetatif terletak pada posterior. Bagian tepi archenteron dibentuk oleh endoderem sedangkan bagian atap dibentuk dari median khordamesoderm dengan lembar mesoderm lateral pada sisi tepi. Selanjutnya dengan segera pertumbuhan dan diferensiasi gastrula berlansung , meliputi pembentukan tiga system organ yang penting yaitu system saraf, mesoderm dengan diferensiasi sekunder, dan notochodra. Primordial ketiga system tersebut dibentuk secara simultan (Klaatsch, 1987.)

System saraf pusat mulai dibentuk pada saat daerah dorsal gastrula mengalami pemanjangan mendatar dan mengalami penebalan seluler. Daerah tengah dari permukaan ectoderm yang mendatar membentuk lempeng neural yang kelak berkembang menjadi system saraf. Setiap sisi dari lempeng neural, di mulai dari ujung posterior tampak penebalan secara longitudinal dan keduanya mengalami pertumbuhan berbentuk kurva keatas dan bertemu pada bagian tengah dan pada akhirnya menjadi atap bagi lempeng neural. Pembentukan neural fold dimulai pada blastoporus dan bergerak kearah anterior dan bersatu pada bagian tengahdorsal dan juga menutupi blastoporus (Browder, 1984).

Sementara itu lempeng neural pada bagian tengah membentuk neural groove. Bagian tepi lateral dari neural grove tumbuh keatas dan pada bagian tengah dorsal bersatu membentuk tabung saraf atau neural tube. Rongga didalam tabung saraf disebut neurocoel. Penutupan tabung saraf di mulai pada daerah somit pertama dari anterior ke posterior. Saluran neural tetap terbuka pada bagian posterior dan bagian berhubungan dengan blastoporus disebut neurenteric canal. Bagian anterior tabung saraf yang terbuka dinamakan neuropore (Morgan, 1896).

Saat lempeng neural mulai ditransformasi menjadi tabung saraf, dinding dorsolateral archenteron tampak mengalami pelipatan yang dangkal keluar 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 kearah luar dan dalam membentuk rongga diantara ectoderm 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 (Klaatsch, 1987.)

Diferensiasi mesoderm lebih lanjut membentuk chorda dorsalis atau notochorda. Diferensiasi ini berlangsung secara simultan dengan pembentukan mesoderm somit yang dibicarakan sebelumnya. Notochorda di bentuk dari sel-sel yang terletak pada daerah median dorsal archenteron diantara dua lekuk mesodermal. Pada mulanya notochorda dibentuk melalui pembentukkan lekukan, dimana rongganya mengarah pada archeteron. Seiring dengan peningkatan panjang embrio sel-sel notochorda terus dihasilkan melalui proliferasi yang cepat pada daerah median dorsal bibir blastoporus. Lekuk notochorda akhirnya membetuk batang notochorda yang di milai pada anterior pada pasangan pertama kantung erchenteric dan merentang kearah posterior. Pemisahan notochorda dari endoderem berlangsung setelah pembentukkan mesoderm somit Sembilan dan kesepuluh. Pada saat itu saluran pencernaan hanya di batasi oleh endoderem (Carlson, 1988).

6.3.3 Gastrulasi Amphibian

Gastrulasi pada embrio katak. Dapat diinterpretasi dengan berbagai cara. Pembentukkan lapisan lembaga pada katak terjadi melalui tiga proses morfogenik pada permukaan blastula berlangsung yaitu proses epiboli adalah 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 berinvulusi atau melentik ke arah dalam (Adnan, 2012)

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 mesoderem, sedangkan alasnya adalah sel-sel yolk atau makromer, yaitu bakal lapisan endoderem. Selanjutnya endoderem terbentuk di bawah korda mesoderem dan juga dihasilkan mesoderem lainnya sebagai hasil proliferasi dan migrasi sel-sel endoderem ke atas sel-sel yolk. Akibat peristiwa

tersebut, maka atap arkenteron bagian lateral serta alasnya terdiri dari lapisan endoderem yang masih berupa sel-sel yolk. Invaginasi selanjutnya berlangsung pada bagian ventral celah blastoporus. Invaginasi pada daerah ini tidak berlanjut dan blastoporus sekarang berbentuk seperti cincin. Mikromer-mikromer yang mengitarinya sesuai dengan letaknya disebut bibir dorsal, bibir lateral, dan bibir ventral blastoporus. Kini proses gastrulasi menghasilkan embrio dengan tiga lapisan lembaga, yaitu ektoderem, mesoderem, dan endoderem (Majumdar, 1985).

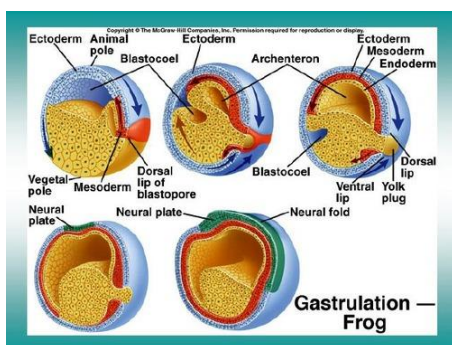
Berbeda dengan gastrulasi pada amphioxus, gastrulasi pada amphibia (katak) tidak dimulai pada daerah vegetative, karena yolk yang terdapat pada daerah tersebut menghambat terjadinya invaginasi. Gastrulasi di mulai dengan terbentuknya suatu celah dibawah bidang equator kurang lebih di bawah daerah kelabu. Pada daerah kelabu memiliki konstitusi sel-sel yang berbeda dengan daerah lain. Pada daerah ini, tegangan permukaan sellebi rendah dan sel-sel lebih bersifat mobile. 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 kepermukaan 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 (Majumdar, 1985).

Lapisan pertama berpindah adalah sebagian kecil dari endoderem yang disusul dengan berpindahnya kordamesoderem. Sejalan dengan itu terbentuk suatu rongga baru disebut rongga arkenteron yang tumbuh semakin besar sejalan dengan berlangsungnya gastrulasi. Sementara itu rongga blastocoels mulai tereliminasi sedikit demi sedikit. Pada permukaan blastula berlangsung proses epiboli, yaitu meluasnya mikromer sebagai akibat aktivitas mitosis dan perluasan tersebut mengarah ke kutub vegetative. Mikromer-mikromer mencapai celah blastoporus yang telah terbentuk pada awal gastrulasi dan selanjutnya berinvolusi atau melentik

kearah dalam. Proses involusi dan invaginasi juga berlangsung pada sisi lateral celah blastoporus, sehingga celah blastoporus sekarang berbentuk seperti sepatu kuda (Markert, 1964).

Atap arkenteron pada mulanya adalah korda mesoderm, sedangkan alasannya adalah sel-sel yolk atau makromer yaitu bakal lapisan endoderm. Selanjutnya endoderm terbentuk dibawah korda mesoderm dan juga dihasilkan mesoderm lainnya sebagai hasil proliferasi dan migrasi sel-sel endoderm yang masih berupa sel-sel yolk. Invaginasi selanjutnya berlangsung pada daerah ini tidak berlanjut dan blastoporus sekarang terbentuk seperti cincin. Mikromer- mikromer yang mengintarnya sesuai dengan letaknya disebut bibir dorsal, bibir lateral dan bibir ventral blastoporus. Kini proses gastrulasi menghasilkan embrio dengan tiga lapisan lembaga yaitu, ektoderm, mesoderm dan endoderm (Majumdar, 1985)

Kini seluruh permukaan gastrula diliputi oleh mikromer yang berpigmen disebut ectoderm. 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 disebut daerah primitive atau primitive streak. Dinding sebelah dorsal dan lateral arkenteron terdiri atas beberapa lapisan sel (Sozen, B. et al.2018).



Gambar 6.2. Tahapan gastrulasi frog

Setelah gastrulasi selesai lapisan sel yang tepat membatasi rongga arkenteron dan dinding terpisah, lapisan ini adalah lapisan endoderem. Ectoderm merupakan lapisan paling luar. Delaminasi lapisan endoderem dimulai pada bagian anterior embrio dan diteruskan ke arah posterior. Batang yang terbentuk dari adanya diferensiasi pada batang penyokong aksia, embrio yang disebut notokorda. Sisa dinding arkenteron yang terdapat disisi 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 amphibia juga terjadi rotasi polaritas embrio (Gilbert, 1985).

6.3.4 Gastrulasi pada Aves

Proses perkembangan embrio ayam dimulai setelah terjadinya fertilisasi yang membentuk zigot, sehingga perkembangan awalnya adalah terjadinya pembelahan segmentasi (cleavage), kemudian morulasi, blastulasi, gastrulasi, neurulasi, dan organogenesis. Fase gastrula terbentuk tiga lapisan dasar embrio yang menentukan perkembangan embrio selanjutnya, yaitu endoderm, mesoderm dan ektoderm. Telur segar memiliki kondisi kandungan telur yang baik, dengan putih telur yang kental dan kuning telur di tengahnya. Telur merupakan salah satu bentuk penyimpan nutrisi, seperti air, protein, karbohidrat, lemak, vitamin dan mineral, yang diperlukan untuk pertumbuhan embrio sampai terjadi penetasan. Selama pembelahan sel awal, dua lapisan sel benih terbentuk, proses ini disebut gastrulasi dan biasanya selesai ketika sel telur dilepaskan dari ibu. Kedua lapisan tersebut adalah ektoderm dan mesoderm. Lapisan ketiga, endoderm, akan terbentuk ketika telur ditempatkan di incubator (Huettne, 1961).

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 (mesoderem dan endoderem). Sel-sel pertama yang melintasi primitive streak bagian anterior adalah bakal endoderem dan diikuti oleh bakal mesoderem. Sel-sel bakal mesoderem menyebar diantara epiblas dan hipoblas membentuk lapisan tengah yang kini disebut sebagai mesoderem. 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 ektoderem (Majumdar, 1985).

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

- a) Poliinvasi yaitu perpindahan sel-sel blastoderem untuk membentuk lapisan hipoblas.
- b) Konkresensi yaitu sel-sel pada blastoderm bagian anterior bermigrasi berhimpun pada bagian posterior
- c) Involusi yaitu pelentikan sel-sel dari luar kedalam.

Berasal dari kata *gaster* (lambung), karena pada tahap ini dibentuk bakal saluran pencernaan. Pada tahap ini terjadi dinamisasi daerah-daerah bakal pembentuk alat pada blastula, diatur dan dideretkan sesuai dengan bentuk dan susunan tubuh. Gastrulasi pada Aves hampir mirip dengan gastrulasi pada mamalia, oleh karena itu, sebagai perbandingan disediakan video animasi Gastrulasi pada mamalia di atas. Ciri utama dari gastrulasi Aves adalah adanya daerah unsur primitif (*primitive streak*). Daerah ini mula-mula tampak sebagai suatu penebalan pada bagian tengah dari *area pelucida* bagian posterior yang disebabkan karena adanya migrasi sel-sel dari daerah posteriolateral ke bagian tengah *area pelucida*. Bagian penebalan menyempit, bergerak ke anterior dan mengerut membentuk suatu parit yang disebut daerah unsur primitif. Lekukannya disebut lekukan primitif dan berperan sebagai *blastoporus*. Pada ujung anterior terjadi penebalan disebut nodus Hensen (*Hensen node*). Bagian tengah nodus Hensen berbentuk sebagai suatu sumur dan melalui tepinya

akan dilalui oleh sel-sel yang masuk ke rongga blastula (Browder, 1984)

Gastrulasi pada Aves dilaksanakan oleh sel-sel yang bergerak secara sendiri-sendiri serta terkoordinasi, dari luar masuk ke dalam embrio, bukan melalui gerakan sel bersama dalam bentuk suatu lempengan. Gastrulasi pada Aves tidak membentuk *archentron* sejati. Setelah endoderm dibentuk, yang menjadi *archentron* adalah rongga subgerminal yang bagian atasnya dibatasi oleh endoderm, sedang dasarnya adalah yolk. Sel-sel yang pertama bermigrasi melalui daerah unsur primitif adalah sel yang akan menjadi endoderm. Sel-sel ini bergerak ke anterior, bergabung dengan hipoblas dan akhirnya menggantikan hipoblast pada bagian anterior dari embrio (Sozen *et al.* 2018)

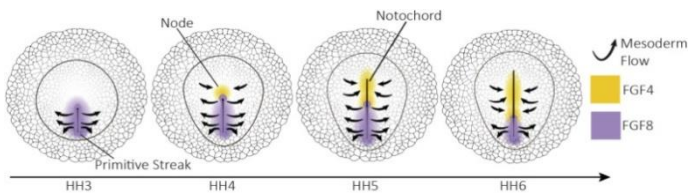
Sel berikutnya yang masuk melalui nodus Hensen juga bergerak ke anterior, tetapi tidak bergerak sejauh bakal endoderm. Sel-sel ini tetap berada di antara epiblast dan endoderm untuk membentuk mesoderm kepala dan *notochord*. Sel-sel yang masuk ini semua bergerak ke anterior, mendorong epiblast bagian tengah ke atas sehingga akhirnya terbentuk lipatan kepala. Sementara itu, makin banyak sel-sel bermigrasi masuk melalui daerah unsur primitif yang setelah masuk kedalam rongga blastula mereka memisahkan diri menjadi dua arah, satu masuk lebih dalam dan bergabung dengan hipoblast serta mendorong hipoblast ke tepi. Sel-sel ini akan membentuk semua organ-organ endodermal dan sebagian besar selaput ekstra-embrio. Kelompok kedua menyebar membentuk suatu lembaran yang terbentang diantara epiblast dan hipoblas. Lembaran ini yang membentuk bagian mesoderm dari embrio dan selaput ekstra-embrio (Morgan, 1896)

Gastrulasi di tandai dengan terjadinya penebalan pada bagian posterior blastoderem kurang lebih 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 (Balinsky, 1985)

Penebalan yang berlangsung pada daerah blastoderem disebabkan karena terjadinya konkresensi/konvergensi sel-sel epiblas kearah median suatu saat berivolusi melalui daerah primitive dan mengisi tempat diantara epiblas dan hipoblas. Sel-sel tersebut kemudian menyebar kearah lateral membentuk mesoderem. Wilyah blastoderem yang belum terjangkau oleh penyebaran mesoderem tampak lebih bening. Daerah tersebut dinamakan daerah proamnion. Daerah proamnion makin lama makin menyempit dan kemudian hilang setelah penyebaran mesoderem mencapai daerah tersebut (Market, 1964)

Daerah primitif dapat disamakan dengan disamakan dengan blastoporus pada amphibian. Terdiri atas sepasang pematang primitif atau primitive ridge dan sebuah parit primitive 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 dalm yang disebut lekuk primitive atau primitive pit (Sozen, 2018).



Gambar 6.3. Tahapan gastrulasi Frog

Setelah primitive streak mencapai pemanjangan yang penuh pada umur inkubasi 18 jam, cephalic mulai beregresi dan terbentuk suatu structure yang di sebut head process atau lipatan kepala. Bagian area pellusida yang berdekatan dengan primitive streak mulai menebal membentuk area embrional. Mengiringi pembentukan dan pemanjangan primitive streak, area pellusida mengalami perubahan bentuk dari bentuk cakram

sirkuler menjadi bentuk konfigurasi bulat. Sumbu memanjang bakal tubuh embrio di perankan oleh primitive streak. Terbentuknya primitive streak dan nodus Hansen's maka periode utama gastrulasi di mulai. Lapisan-lapisan lembaga dibentuk melalui migrasi sel-sel epiblas kearah nodus Hansen's dan primitive streak dan sel-sel berintegresi untuk membentuk lapisan lembaga tengah dan bawah (mesoderm dan endoderem). Sel-sel pertama yang melintasi primitive streak bagian anterior adalah bakal endoderem dan diikuti oleh bakal mesoderem. Sel-sel bakal mesoderem akan menyebar diantara epiblas dan hipoblas membentuk lapisan tengah yang kini disebut sebagai mesoderem sel-sel bermigrasi melalui nodus Hansen's meluas kedepan dan sel-sel tersebut terkondensasi membentuk notokorda, sedangkan sisa sel-sel epiblast yang tidak berinvaginasi melalui daerah primitive akan tetap menjadi ektoderem (Huettnner, 1961)

Sementara pembentukan mesoderm berlangsung, daerah unsure primitif mulai memendek sehingga nodus Hensen berpindah letak dari di tengah area pelusida menjadi berada di bagian posterior. Dengan perkataan lain, nodus Hensen bergerak ke posterior dan notokord posterior terbentuk. Akhirnya nodus bergeser mencapai posisinya yang paling posterior dan membentuk daerah anal. Pada tahap ini epiblast seluruhnya terdiri atas bakal sel-sel ektoderm yang berepiboli hingga mengelilingi yolk. Gastrulasi telah selesai dengan dibentuknya eksoderm, digantinya hipoblas dengan endoderm dan terletaknya mesoderm di antara kedua lapisan ini (Sugiyanto, 2006)

6.3.5 Gastrulasi pada mamalia

Gastrulasi merupakan proses pembentukan tiga lapis benih utama embrio, yaitu ektoderm, mesoderm, dan endoderm. Proses gastrula ditandai dengan adanya perubahan susunan dari embrio yang merupakan pertumbuhan dan perkembangan dari tiga lapisan tersebut. Proses ini merupakan kelanjutan dari fase

blastula yang terdiri atas tropohlast dan massa sel dalam yang merupakan bakal tumbuh embrio. Proses perkembangan sel bakal organ ada dua yaitu epiboli dan emboli. Epiboli adalah proses pertumbuhan sel yang bergerak ke arah depan, belakang dan samping dari sumbu embrio dan akan membentuk epidermal sedangkan emboli adalah proses pertumbuhan sel yang bergerak ke arah dalam terutama sumbu embrio. Pada tahapan blastula terbentuk dua lapisan benih yaitu epiblast yang sebagian besar bakalnnya akan menjadi ektoderm, dan hipoblast yang bakalnnya akan menjadi endoderm. Proses gastrulasi diawali dengan lapisan bilamaner embrio yang memanjang dan berbentuk eliptical. Sel-sel epiblast disekitar alur yang terbentuk berpoliferasi dan bermigrasi dibagian antara epiblast dan hipoblast membentuk mesoderm. Epiblast kemudian dinamakan ektoderm setelah gastrulasi terjadi, sementara sel-sel mesoderm yang berada disekitar primitive strikeakan bermigrasi ke arah cranial untuk membentuk prechordal dan nantinya akan membentuk notochord (Wilson, 1893)

Proses gastrulasi tersebut akan ada gerakan sel dalam usaha mengatur dan menderetkan mereka sesuai dengan bentuk dan susunan suatu tubuh individu. Pemisahan pertama dari sel-sel pada massa sel dalam adalah untuk pembentukan hipoblast yang akan membatasi rongga blastula dan akan menjadi endoderm kantong yolk. Sisa dari massa sel dalam yang terletak di atas hipoblast terbentuk suatu kepingan yang disebut dengan keping embrio. Epiblast memisahkan diri dengan membentuk suatu rongga yang disebut dengan amnion. Sel-sel ekstra trophoblast membentuk kumpulan sel dan membentuk sinsitrophoblast yang akan memasuki permukaan uterus dan tertanam disana. Selanjutnya uterus membentuk banyak pembuluh darah yang berhubungan dengan sinsitrophoblast. Setelah itu, mesoderm meluas ke permukaan embrio. Pembuluh yang terbentuk merupakan pembuluh tali pusat dan berada pada tangkai penyokong. Jaringan trophoblast dan mesoderm yang mengandung pembuluh darah disebut dengan korion dengan dinding uterus membentuk plasenta. Proses Gastrulasi

yang berlanjut ketahap Organogenesis, sel embrio nampak seperti bakal manusia. Organogenesis ditandai dengan adanya pertumbuhan embrio bentuk primitif menjadi fetus yang mempunyai bentuk definitif dan mengalami diferensiasi menjadi individu baru. Embrio akan memiliki bagian yang khas dengan fungsi yang berbeda dimasing-masing bagian organ dan berbeda dari individu lain. Pada akhir organogenesis, ciri-ciri eksternal dan sistem organ utama telah secara definitif terbentuk dan pada akhirnya embrio disebut fetus atau janin (Balinsky, 1985)

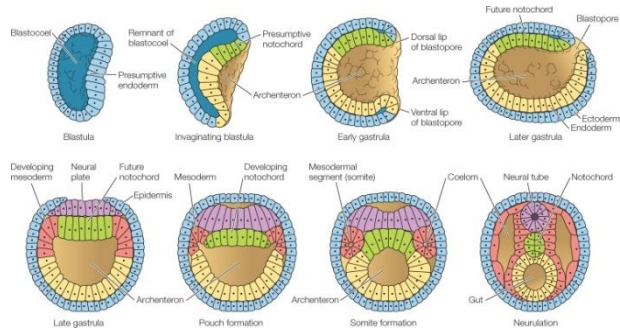
Ciri khas dari fetus adalah ia memiliki bentuk yang sama seperti bentuk fetus famili hewan. Proses akhir dari gastrulasi yakni terbentuknya tiga lapisan berupa ektoderm, mesoderm, dan endoderm menjadi awal dari proses organogenesis dimana masing-masing lapisan akan berubah menjadi organ-organ tubuh. Lapisan ektoderm yang merupakan lapisan luar akan menumbuhkan janutng, sistem syaraf pusat, kulit, rambut, dan panca indera. Lapisan mesoderm yang merupakan lapisan tengah akan berdiferensiasi menjadi bagian otot, kerangka, alat reproduksi, sistem peredaran darah, dan alat ekskresi. Sedangkan lapisan Endoderm yang merupakan lapisan dalam akan menumbuhkan alat pencernaan dan sistem respirasi atau pernapasan (Balinsky, 1985)

Pada keeping embrio berlangsung proses gastrulasi yang serupa dengan gastrulasi yang berlangsung pada gastrulasi ayam, sehingga terdapat stadium daerah primitive dan lapisan-lapisan lembaga ektoderem, mesoderem, dan endoderem. Disamping daerah primitive dan bakal notokorda. Lapisan lembaga di dalam keeping embriodisebut lapisan lembaga intra embrio, sedangkan yang terdapat di luar keeping embrio dinamakan lapisan lembaga ekstra embrio. Lapisan endoderem terbentuk dengan cara delaminasi. Pendapat lain menyebutkan bahwa lapisan endoderem berasal dari massa sel-sel dalam. Keeping embrio terdiri atas lapisan sel yang tebal yang disebut mesektoderem dan lapisan tipis yang disebut entoderem. Mesentoderem akan menjadi mesoderem

dan ektoderem. Ektoderem adalah tropoblas yang merupakan lapisan terluar. Pembentukan mesoderem pada embrio mamalia sama dengan pembentukan mesoderem 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 (Oppenheimer, 1980).

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 dibawah rongga amnion membentuk keeping yang dinamakan keeping embrio atau embryonic disc yang kelak akan menghasilkan embrio. keeping embrio terdiri atas lapisan ektoderem yang berbatasan dengan rongga amnion dan endoderem yang berbatasan dengan blastocoels. Blastocoels terletak kearah rongga uterus sedangkan keeping embrio rongga amnion tertanam kearah dinding uterus. Endoderem akan berproliferasi membentuk sel-sel pipih yang mendindingi blastocoels. Blastocoels sekarang menjadi gastrocoel atau arkenteron atau rongga kantong yolk. Endoderem yang mendindinginya akan menjadi bagian dari kantong yolk . pada mamalia, kantong yolk tidak mengandung yolk (Morgan, 2017)

Pada keeping embrio berlangsung proses gastrulasi yang serupa dengan gastrulasi yang berlangsung pada gastrulasi ayam, sehingga terdapat stadium daerah primitive dan lapisan-lapisan lembaga ektoderem, mesoderem, endoderem. Disamping daerah primitive dan bakal notokorda. Lapisan lembaga didalam keeping embrio disebut lapisan lembaga intra embrio, sedangkan terdapat di luar keeping embrio dinamakan lapisan lembaga ekstra embrio (Samuel, 2017)



Gambar 6.4. Tahapan gastrulasi amphioxus

Ada pendapat bahwa lapisan endoderem terbentuk dengan cara delaminasi. Pendapat lain menyebutkan bahwa lapisan endoderem berasal dari massa sel-sel dalam. Seperti diketahui bahwa keeping embrio terdiri atas lapisan sel yang tebal disebut mesektoderem dan lapisan tipis yang disebut ektoderem. Mesentoderem aka menjadi mesoderem dan ektoderem. Ektoderem adalah tropoblast yang merupakan lapisan terluar pembentukan mesoderem pada embrio mamalia sama dengan pembentukan mesoderem pada embrio ayam (Samuel, W & Rhiannon. 2017).

Berbeda dengan aves, gastrulasi pada mamalia berlangsung dalam uterus, sedangkan gastrulasi pada aves berlangsung didalam telur. Embrio yang mencapai rongga uterus biasanya telah berada pada stadium blastula yang terdiri atas massa sel-sel dalam tropoblast, lalu menempatkan atau tertanam pada endometrium yang telah dipersiapkan sebelumnya (Huettnner, 1961)

DAFTAR PUSTAKA

- Aprilia, Wahyu. 2020. Perkembangan Pada Masa Prenatal Dan Kelahiran. Yogyakarta; Yaa Bunayya: Jurnal Pendidikan Anak Usia Dini, Vol. 4, no 1. h. 40-55.
- Balinsky, B.I. 1985. An Introduction to Embryology. Philadelphia: Saunders College.
- Browder, L.W., 1984. Developmental Biology. Philadelphia: Saunders College.
- Carlson , R.M. 1988. An introduction to embryology. WB. SAUNDERS, Co philadephia.
- Gilbert , S.F 1985. Development biology. Sinauer Ass. Publ.sunderland. messacussetts.
- Huettnner, A.F. 1961. Fundamentals of Comparative Embryology of The Vertebrates. New York: The Macmillan Company
- Johannes. W. R. & Elke, L. D., 2009. Funktionelle Embryologie, Terj. Harjadi Widjaja, Embriologi Fungsional. Jakarta; Penerbit Buku Kedokteran
- Kowalevski, A entwicklungsggeschihte des Amphioxus lanceolatus. Mlm.acad.imp de.st Pttersburg. Tomi xi
- Klaatsch, H. 1987. Bemerkungen uber die Gastrula des Amphioxus. Mor-h. jahrb
- Markert, C.L. and heindrich, U.1964. foundation experimental embryology . Mac, Millan Publ. Co. New york
- Majumdar, N.N. 1985. Textbook of Vertebrate Embryology. New Delhi: Tata McGraw Hill.
- Morgan, T. H. 1996. The Number of Cells in Larvae from Isolated Blastomeres of Amphioxus. Arch. f. Entwickelunsmechanik d. Organismen. Bd. iii, Heft 2.
- Oppenheimer,S.B. 1980. Introduction to Embryonic Development. Boston: Allyn Bacon.
- Samuel, W & Rhiannon. D. W. 2017. Embriology at a Glance, Terj.Vidya Hartiansyah, At a Glance Embriologi. Jakarta; Penerbit Erlangga
- Sugiyanto. 2006. perkembangan Hewan. Yogyakarta: Biologi UGM.

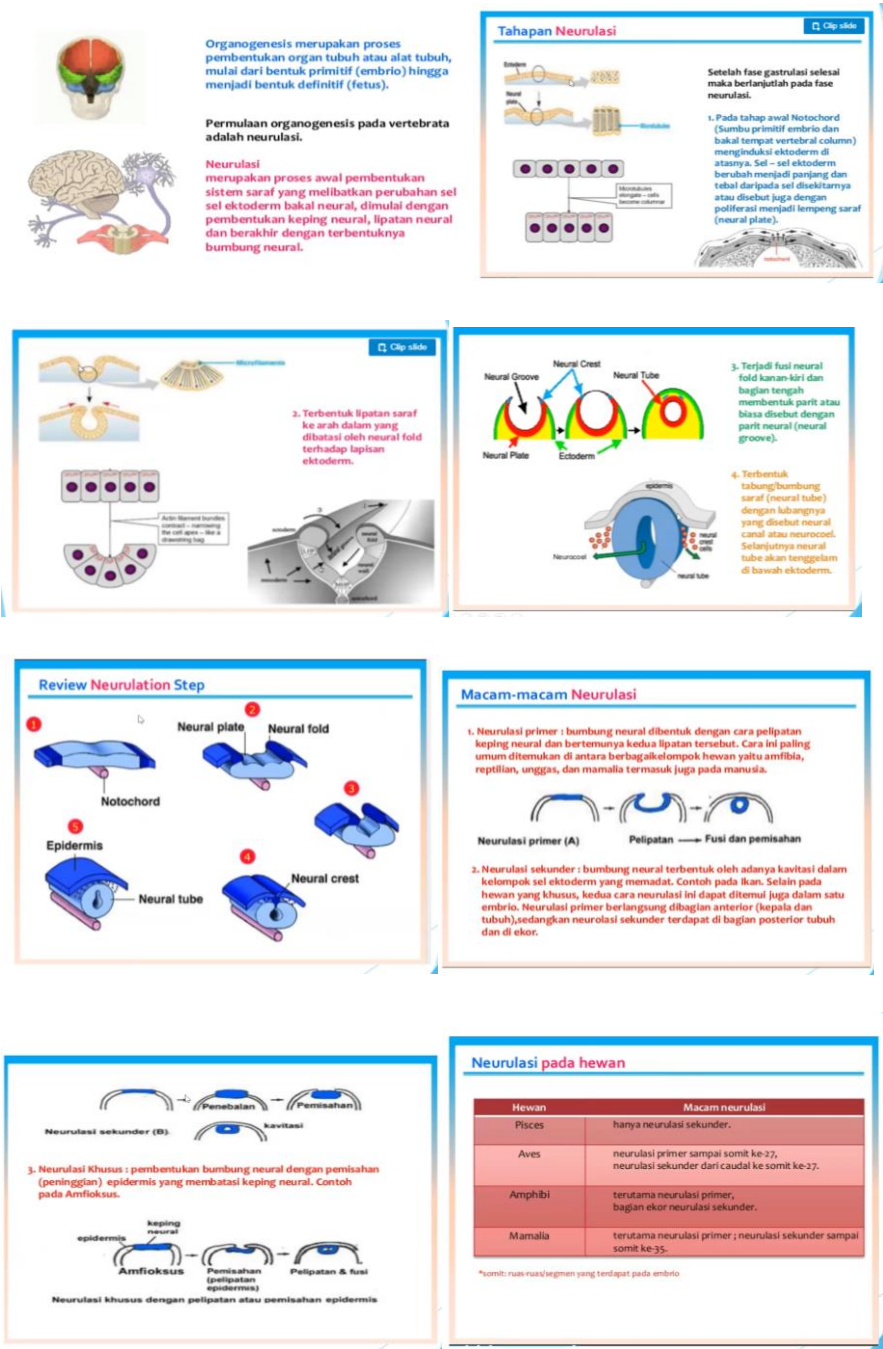
- Sugiyanto 1996.perkembangan hewan. Yogyakarta. Fakultas biologi:
- Sozen, B. et al.2018. Self-assembly of embryonic and two extra-embryonic stem cell types into gastrulating embryo-like structures. *Nat. Cell Biol.* **20**, 979–989
- Wilson, E. B. Amphioxus and the Mosaic Theory of Development. *Journal of Morphology.* Vol.8.
- Willer and Oppenheimer,J.M.1964. *Fundation Experimental Embryology.* Mac. Millan Publ.co New York.

BAB 7

NEURULASI

7.1 Pendahuluan

Organogenesis adalah proses pembentukan organ mulai dari bentuk primitif atau embrio menjadi bentuk definitif (fetus). Permulaan organogenesis pada Vertebrata adalah dimulai dengan proses pembentukan Neurulasi. Neurulasi melibatkan perubahan sel ektoderm bakal neural yang dimulai dengan pembentukan keping neural, lipatan neural dan berakhir dengan terbentuknya bumbung neural. Proses neurulasi terjadi awalnya adalah induksi dari lapisan ektoderm. Pada lapisan ektoderm ini akan terjadi proses neurulasi. Tahap dari neurulasi ini ada empat, yaitu yang pertama adalah tahap awal notochord akan menginduksi ektoderm atau mengalami proliferasi menjadi lempeng saraf (neural plate). Kemudian setelah terbentuk lempeng saraf maka lipatan saraf tadi akan bergerak ke arah dalam atau mengalami invaginasi menjadi neural fold kanan dan kiri. Kemudian neural fold kanan dan kiri bergabung sehingga terbentuklah parit. Tahap selanjutnya adalah setelah terbentuk parit neural (neural groove), kemudian terbentuklah bumbung saraf (neural tube). Tahapan dan jenis neurulasi dapat dilihat pada Gambar 1.



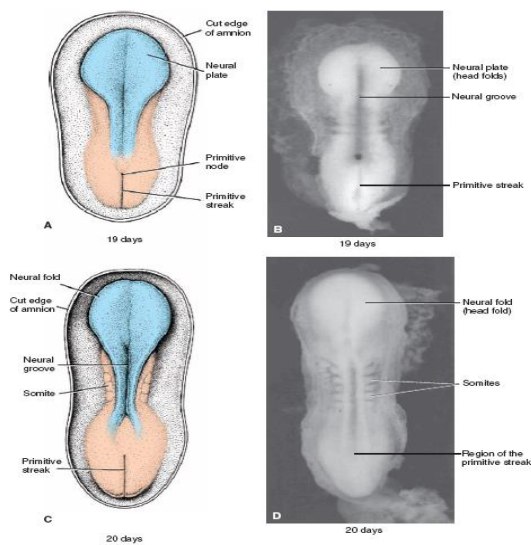
Gambar 7.1. Tahapan dan Jenis Neurulasi

7.2 Regulasi Molekuler Neural

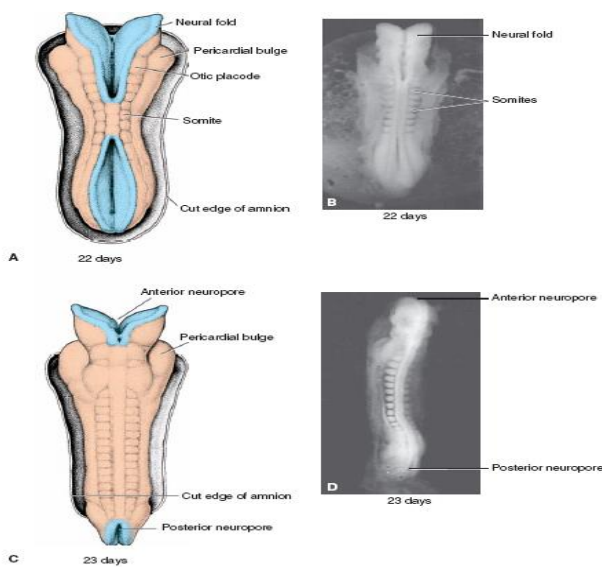
➤ Induksi

Upregulasi faktor pertumbuhan fibroblast (FGF) signal bersama dengan penghambatan aktivitas protein morfogenetik tulang 4 (BMP4), suatu faktor pertumbuhan transformasi-b (TGF-b) yang bertanggung jawab untuk melakukan ventralisasi ektoderm dan mesoderm, menyebabkan induksi dari saraf (Agung, 2015). Pensinyalan FGF mungkin mempromosikan jalur saraf oleh yang tidak diketahui mekanisme sementara itu menekan transkripsi BMP dan meningkatkan pengaturan ekspresi chordin dan noggin, yang menghambat aktivitas BMP. Di hadapan BMP4, yang menembus mesoderm dan ektoderm dari embrio yang meletup, ektoderm diinduksi untuk membentuk epidermis, dan mesoderm membentuk mesoderm lempeng menengah dan lateral. Jika ektoderm dilindungi dari paparan BMP, "keadaan standar" adalah menjadi jaringan saraf. Sekresi molekul lainnya, noggin, dan follistatin menonaktifkan BMP. Protein ini terdapat pada primitif simpul, notochord, dan mesoderm prechordal. Neurulasi ektoderm dengan menghambat BMP dan menyebabkan mesoderm menjadi notochord dan paraxial mesoderm (mesoderm dorsal); namun, penginduksi saraf ini hanya menginduksi otak depan dan jaringan otak tengah. Induksi kaudal struktur plat saraf (otak belakang dan sumsum tulang belakang) tergantung pada dua protein yang disekresikan WNT3a dan FGF.

➤ Neurulasi



Gambar 7.2. Tahapan Neurulasi 20 hari



Gambar 7.3. Tahapan Neurulasi 23 hari

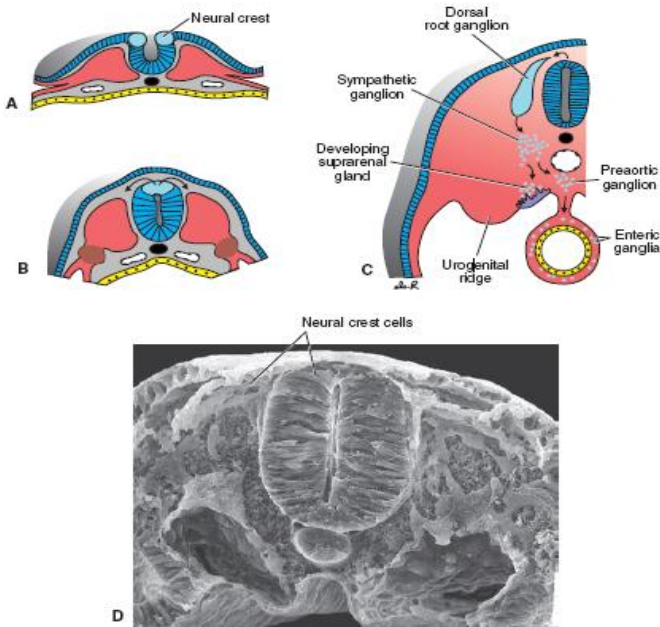
Neurulasi adalah proses di mana saraf pipih membentuk tabung saraf. Pada akhir minggu ketiga, tepi lateral dari saraf pipih menjadi tinggi untuk membentuk lipatan neural, dan midregion yang depresi membentuk saraf alur (Gambar 2) (Yuanita, 2003). Secara bertahap, lipatan saraf mendekati satu sama lain di garis tengah, (Gambar 2A, B). Fusi dimulai di serviks region (fth somite) dan hasil cranial dan kaudal (Gambar 2C, D). Akibatnya, saraf tabung terbentuk. Sampai fusi selesai, ujung sephalik dan kaudal dari tabung saraf berkomunikasi dengan rongga ketuban dengan cara dari anterior (cranial) dan posterior (caudal) neuropore, masing-masing (Gambar. 3C, D dan 3A). Penutupan dari neuropore kranial terjadi di kira-kira hari ke 25 (tahap 18 hingga 20-somit), sedangkan neuropori posterior menutup pada hari 28 (panggung 25-somite) (Gambar 3 B). Neurulasi adalah kemudian lengkap, dan sistem saraf pusat diwakili oleh struktur tubular tertutup dengan bagian ekor yang sempit, sumsum tulang belakang, dan bagian sephalik jauh lebih luas ditandai oleh sejumlah dilatasi, vesikula otak (Kasmeri, 2014).

Proses neurulasi ditandai dengan adanya induksi dari notochord sebagai induktor terhadap ektoderm neural yang terletak di atasnya dan berperan sebagai jaringan. Induksi memperlihatkan adanya tingkatan. Induksi paling awal oleh induksi disebut sebagai induksi primer sedangkan induksi-induksi selanjutnya disebut induksi sekunder (Subeoro, 2014). Tanpa adanya induksi neural, induksi-induksi selanjutnya terutama terjadi pada tahap organogenesis, tidak dapat berlangsung dan embrio tidak akan berkembang lanjut secara sempurna. Kebanyakan proses induksi ini bersifat instruktif dan sisanya permisif (Susari, 2016).

7.3 Sel Neural Crest

Ketika lipatan neural mengangkat dan menyatu, sel-sel di batas lateral atau lambang neuroectoderm mulai berdisosiasi. Sejumlah sel, krista neural, akan berpindah epitel-ke-mesenkimal transisi saat ia meninggalkan neuroectoderm dengan migrasi aktif dan perpindahan untuk masuk mesoderm yang mendasarinya (Sujono, 2015). (Mesoderm merujuk ke sel-sel yang berasal dari epiblast dan ekstraembryonic jaringan. Mesenkima mengacu pada longgar terorganisir jaringan ikat embrio terlepas dari asal.) Sel-sel puncak dari wilayah batang meninggalkan neuroektoderm setelah penutupan saraf tabung dan bermigrasi di sepanjang salah satu dari dua jalur: (1) jalur dorsal melalui dermis, di mana mereka akan memasuki ektoderm melalui lubang masuk lamina basal untuk membentuk melanosit di kulit dan folikel rambut, dan (2) jalur ventral melalui separuh anterior setiap somit ke menjadi ganglia sensoris, simpatik dan neuron enterik, sel Schwann, dan sel dari medulla adrenal. Neural crest Sel-sel juga terbentuk dan bermigrasi dari saraf kranial lipatan, meninggalkan tabung saraf sebelum penutupan wilayah ini (Gambar 7.6) (Wulan. 2016). Sel-sel ini berkontribusi kerangka kraniofasial, serta neuron untuk ganglia kranial, sel glia, melanosit, dan jenis sel lainnya. Neural crest sel sangat penting dan berkontribusi ke begitu banyak organ dan jaringan yang mereka kadang-kadang disebut sebagai kuman keempat lapisan. Secara evolusioner, sel-sel ini muncul di awal perkembangan vertebrata dan diperluas kelompok ini secara ekstensif dengan menyempurnakan pemangsa gaya hidup (Campbell, 2003).

7.4 Regulasi Induksi Molekuler



Gambar 7.4. Induksi Molekuler

Induksi sel-sel kista neural membutuhkan interaksi di perbatasan junctional lempeng saraf dan permukaan ektoderm (epidermis) (Gambar 7.4). Konsentrasi menengah BMPs ditetapkan di batas ini dibandingkan dengan saraf sel lempeng yang terpapar ke tingkat yang sangat rendah BMP dan sel ektoderm permukaan yang terkena tingkat yang sangat tinggi. Protein noggin dan bawahan mengatur konsentrasi ini dengan bertindak sebagai inhibitor BMP (Santoso, 2022). Secara umum, lapisan ektodermal menimbulkan organ dan struktur yang mempertahankan kontak dengan dunia luar: sistem saraf pusat; sistem saraf perifer; epitel sensoris telinga, hidung, dan mata; dan epidermis, termasuk rambut dan kuku. selain itu, ia menimbulkan: kelenjar subkutan, kelenjar susu, kelenjar pituitari, dan enamel gigi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, R. 2015. *Reproduksi Perkembangan Hewan*. Yogyakarta : Cahaya Atma Pustaka
- Campbell Reece-Mitchell. Biologi Jilid 3 edisi ketujuh. Jakartra, Erlangga. 2003.
- Kasmeri, R., & Safitri, E. 2014. Induksi Kejutan Suhu 36° terhadap Perkembangan Embrio dan Keberhasilan Poliploidisasi Katak (*Rana cancrivora*). *Jurnal Pelangi*, 6(2), 142-151.
- Kusumawati, A., Febriany, R., Hananti, S., Dewi, M. S., & Istiyawati, N. 2016. Perkembangan Embrio dan Penentuan Jenis Kelamin DOC (*Day- Old Chicken*) Ayam Jawa Super. *Jurnal Sain Veterier*, 34(1), 29-41.
- Salder, T W dan Langman, Jan, 2012. Medical embryology Twelth Edition. United States: Philadelphia : Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkin.
- Santoso. 2022. Penghambatan Senyawa Didalam Kopi terhadap Protein Fibronektin dan Protein *Shroom*: Kajian Gangguan Neurulasi Primer secara In Silico. *Jurnal Kesehatan*, 13(2), 382-390.
- Suberata, W. 2014. *Fertilisasi, Cleavage Dan Implantasi*. https://simdos.unud.ac.id/uploads/file_pendidikan_dir/5e94e5221fc7015c6321a3e3b93ac00e.pdf
- Sujono, T.W, dan Maman Rumanta. 2015. *Perkembangan Hewan*. Banten: Universitas Terbuka.
- Susari, N.N.W, dan N.L.E Setiasih. 2016. *Fertilisasi Pada Hewan*. Denpasar: Universitas Udayana.
- Wulan. 2016. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kejadian Neural Tube Defect. *Jurnal Medical*, 5(3), 13-28.
- Yuanita, W. 2003. Efek Pemberian 2-Metoksietanol Selama Neurulasi terhadap Menurunnya Kemampuan Kognitif Anak Mencit (*Mus musculus*) Swiss Webster Jantan pada Uji Menggunakan *Shuttle Box*. *Jurnal Penelitian Sains*, 14(1), 15-24.

BAB 8

SELAPUT EMBRIO

8.1 Pendahuluan

Embrio tidak hanya mengalami pertumbuhan dan diferensiasi, tetapi juga mengalami proses fisiologis yang diperlukan untuk tetap hidup. Hal ini dapat terjadi karena adanya sokongan dari suatu struktur penting yang disebut dengan selaput embrio. Struktur ini berikatan dengan jaringan embrio, tetapi tidak termasuk bagian dari tubuh embrio itu sendiri. Bagian ini nantinya akan dibuang saat penetasan atau kelahiran (Bellairs & Osmond, 2014).

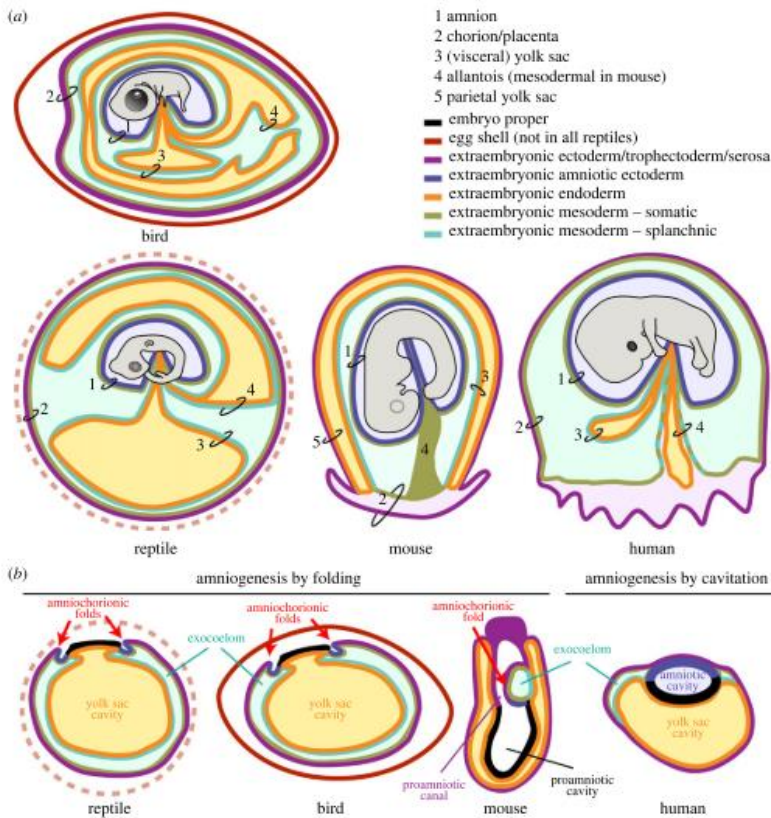
Selaput embrio adalah selaput ekstraembrionik yang berkembang pada tahap awal perkembangan embrio vertebrata. Selaput embrio akan mengelilingi dan melindungi embrio selama masa kebuntingan dan berdekatan dengan dinding uterus (Buerzle & Mazza, 2013). Pada umumnya, selaput embrio berperan sebagai mediator dalam pertukaran zat serta melindungi embrio. Misalnya, pada reptil dan aves, selaput embrio memiliki fungsi sebagai protektor internal yang melindungi embrio di dalam cangkang telur. Pada mamalia, selaput embrio akan membentuk plasenta bersama dengan bagian endometrium induk (Nugroho, 2015).

Selaput embrio akan terhubung langsung dengan embrio yang sedang dalam proses perkembangan. Selaput embrio terdiri dari beberapa bagian, yaitu amnion, korion, alantois, dan kantung kuning telur (*yolk sac*). Selaput embrio termasuk struktur organ tambahan yang berkembang pada masa kebuntingan dan bukan merupakan bagian dari embrio itu

sendiri. Dalam perkembangan embrio vertebrata, selaput embrio memiliki peran yang sangat penting dan menjadi salah satu fokus utama dalam penelitian biologi perkembangan (Richardson & Menon, 2022).

Selaput embrio merupakan jaringan ekstra embrionik yang identik secara genetik dengan embrio yang mengelilinginya. Terdapat berbagai jenis selaput janin yang berbeda-beda pada vertebrata. Pada manusia, selaput embrio pada akhir kehamilan memiliki luas sekitar 1000-1200 cm², dimana 30% bagian akan menutupi plasenta dan sisanya 70% berinteraksi dengan jaringan maternal. Kekuatan selaput janin sangat penting untuk menyokong keberlangsungan embrio selama masa kebuntingan dimana kekuatan dan elastisitas jaringan memungkinkannya untuk membesar dua kali lipat. Selain itu, selaput embrio juga harus mendukung gerakan embrio yang kuat, terutama menjelang akhir kebuntingan (Castillo-Castrejon et al., 2018).

Dari dua lapisan embrionik, yaitu ektoderm dan mesoderm somatis (somatopleura), terbentuk empat jenis selaput embrio yang berfungsi sebagai protektor dan mediator pertukaran zat pada masa perkembangan embrio yaitu amnion dan korion. Selain itu, kantung kuning telur dan alantois juga terbentuk dari endoderm dan mesoderm splanknis (splanknopleura) (Nugroho, 2015). Pada mamalia termasuk manusia, selaput embrio terdiri dari dua selaput epitel, yaitu amnion dan korion, yang terhubung oleh beberapa lapisan matriks ekstraselular yang kaya kolagen (Richardson & Menon, 2022).



Gambar 8.1 Selaput Embrio Pada Amniota (Reptil, Tikus, Burung dan Manusia)
(Sumber : Chuva et al., 2022)

Selaput embrio terbentuk pada tahap awal perkembangan embrio vertebrata dan melindungi embrio serta membentuk antarmuka antara embrio dan maternal (*fetomaternal interface*). Selaput embrio berasal dari lapisan trofoblas, yang merupakan lapisan luar sel dari blastokista yang berimplantasi. Trofoblas kemudian berdiferensiasi menjadi amnion dan korion yang membentuk selaput embrio. Amnion berada di lapisan paling dalam dan pada mamalia, terhubung dengan cairan ketuban, embrio, dan tali pusar. Tekanan internal cairan ketuban menyebabkan amnion melekat pada korion secara pasif. Korion

berfungsi memisahkan amnion dari desidua dan uterus induk. Di sisi lain, plasenta berkembang dari korion embrio dan jaringan uterus induk (Rao et al., 2018).

8.2 Struktur Anatomi Selaput Embrio

Struktur anatomi selaput embrio terdiri dari berbagai jenis sel yang berbeda-beda yang memiliki fungsi yang spesifik dalam melindungi dan membantu perkembangan embrio.

8.2.1 Amnion

Ketika perkembangan awal, pada saat embrio mengalami lipatan sefalodoksal dan lateral, membran amnion melingkupi tubuh embrio seperti balon yang berisi cairan. Amnion merupakan salah satu bagian dari selaput embrio yang berbentuk kantung dan mengandung cairan amnion. Fungsinya adalah untuk melindungi embrio dari goncangan, dehidrasi, dan menjaga suhu tubuh yang stabil. Struktur anatomi amnion terdiri dari membran yang tipis dan tersusun atas lapisan epitelium dan mesotelium yang bersifat semi-permeabel. Dengan demikian, amnion menjadi salah satu komponen penting dalam perlindungan embrio dan menjaga kelangsungan perkembangan embrio yang sehat (Carlson, 2014).

Amnion adalah jaringan ekstraembrionik yang secara evolusioner memungkinkan embrio semua amniota berkembang dalam lingkungan akuatik sementara (Chuva et al., 2022). Amnion yang mengelilingi embrio merupakan lapisan terdalam dari dua lapisan trofoblas yang mengelilingi embrio dan membran lainnya, serta dibentuk oleh mezoderm ekstra embrional (Rao et al., 2018).

8.2.2 Korion

Korion adalah selaput embrio yang terletak di lapisan paling luar dan memiliki banyak pembuluh darah yang berfungsi sebagai tempat pertukaran gas antara embrio dan uterus. Pembuluh darah korion terdapat pada permukaan luar korion

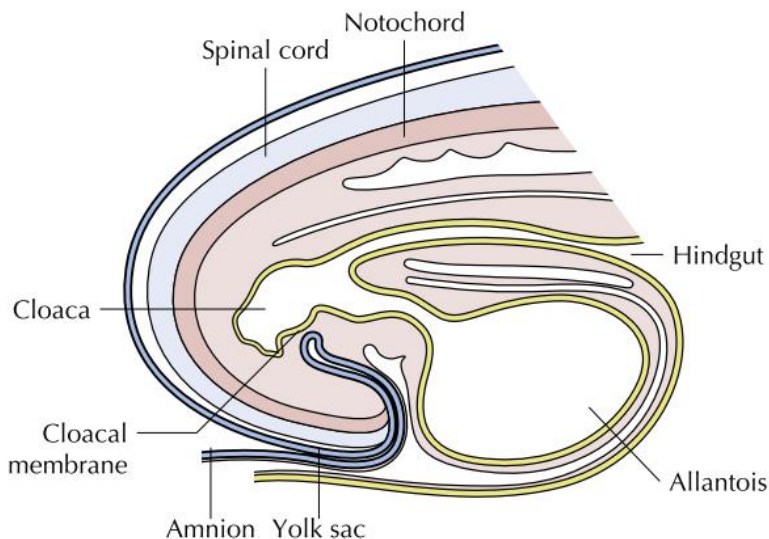
kemudian masuk ke endometrium dan memungkinkan transfer nutrisi dari darah maternal ke darah embrio. Korion terdiri dari dua lapisan, yaitu lapisan luar yang mengandung banyak pembuluh darah dan lapisan dalam yang memiliki struktur mirip dengan amnion. Korion terdiri dari dua lapisan sel, yaitu sitotrofoblas dalam dan sinsetiotrofoblas luar. Korion dan alantois bergabung membentuk membran korioalantois (Rao et al., 2018).

8.2.3 Alantois

Alantois terletak di bawah selaput amnion dan korion, berfungsi sebagai tempat pembuangan limbah dan pertukaran gas melalui membran korion. Alantois memiliki struktur anatomi dengan dua lapisan, yakni lapisan luar yang terdiri dari epitelium dan lapisan dalam yang terdiri dari jaringan ikat. Selain itu, alantois juga terhubung dengan pembuluh darah untuk memudahkan pertukaran gas dan limbah. Alantois adalah lapisan tengah plasenta (berasal dari hindgut embrionik). Membran ini dilintasi oleh pembuluh darah yang berasal dari umbilikus. Alantois menjadi *urachus* yang menghubungkan kandung kemih embrio ke kantung kuning telur. *Urachus* adalah kanalis yang menghubungkan kandung kemih dan umbilikus pada embrio. *Urachus* berfungsi untuk membuang limbah nitrogen dari kandung kemih embrio (Rao et al., 2018).

Fungsi dari alantois pada mamalia eutheria cenderung mengecil, sedangkan pada amniota yang bertelur, korion dan alantois berfungsi sangat penting dan dibutuhkan terutama untuk pertukaran gas melalui cangkang telur. Pada burung dan reptil, alantois terbentuk dari endoderm ekstraembrionik dan membentuk kantung berisi cairan, yang dilapisi oleh mesoderm ekstraembrionik. Mesoderm ekstraembrionik dari alantois dan korion akhirnya menyatu membentuk membran korioalantois. Membran ini akan memfasilitasi pertukaran gas dan reabsorpsi elektrolit dari rongga alantois. Pada tikus, alantois merupakan struktur padat dari mesoderm ekstraembrionik yang memanjang dan menyatu dengan korion untuk membentuk tali

pusar, sedangkan pada manusia, alantois (endoderm dan mesoderm ekstraembrionik) digabungkan ke dalam tali pusar (Chuva et al., 2022).



Gambar 8.2. Gambaran Letak Alantois pada Embrio Ayam
(Sumber : Bellairs & Osmond, 2014)

8.2.4 Kantung Kuning Telur (*Yolk Sac*)

Kantung kuning telur (*yolk sac*) terletak di bawah alantois dan berfungsi sebagai sumber nutrisi dan oksigen selama tahap awal perkembangan embrionik. Kantung kuning telur akan mengelilingi kuning telur dan dirancang sedemikian rupa sehingga kuning telur yang tercerna sebagian dilepaskan ke dalam aliran darah embrionik. Struktur anatomi kantung kuning telur terdiri dari dua lapisan, yaitu lapisan luar yang terdiri dari sel epitelium dan lapisan dalam yang mengandung jaringan endodermal dan mesodermal (Bellairs & Osmond, 2014).

Kantung kuning telur bertanggung jawab untuk sirkulasi awal dan bertugas mengantarkan nutrisi melalui aorta primitif ke embrio yang sedang berkembang melalui proses yang disebut sirkulasi vitelina (Rao et al., 2018). Kantung kuning telur yang

terdiri dari endoderm viseral/hipoblas dan mesoderm ekstraembrionik (splanchnik), mengelilingi setiap cadangan yolk yang dialirkan secara maternal dan biasanya akan dimulai perkembangan sel-sel darah primitif pada yang disebut dengan pulau darah. Struktur ini kemudian membentuk pleksus vaskular primitif. Kantung kuning telur bertanggung jawab, setidaknya selama perkembangan awal, dalam memetabolisme dan mengangkut nutrisi ke embrio (Chuva et al., 2022).

8.3 Fungsi Selaput Embrio

1. Melindungi embrio dari lingkungan luar: Amnion berfungsi sebagai tempat perlindungan bagi embrio dari guncangan dan kekeringan, sehingga memungkinkan embrio untuk berkembang dengan aman dalam lingkungan uterus.
2. Menyerap nutrisi: Korion berperan dalam menyerap nutrisi dari uterus yang akan digunakan oleh embrio untuk tumbuh dan berkembang.
3. Pengeluaran limbah dan pertukaran gas: Alantois berfungsi sebagai tempat pengeluaran limbah dan pertukaran gas yang diperlukan oleh embrio, seperti oksigen dan karbon dioksida.
4. Sumber nutrisi: Kantung kuning telur (yolk sac) berfungsi sebagai sumber nutrisi dan oksigen untuk embrio selama tahap awal perkembangan embrionik.
5. Memfasilitasi perkembangan embrio: Selaput embrio secara keseluruhan membantu memfasilitasi perkembangan embrio dengan memberikan lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhan dan perkembangan sel-sel embrio.

8.4 Selaput Embrio Pada Vertebrata

8.4.1 Selaput Embrio Pada Amniota

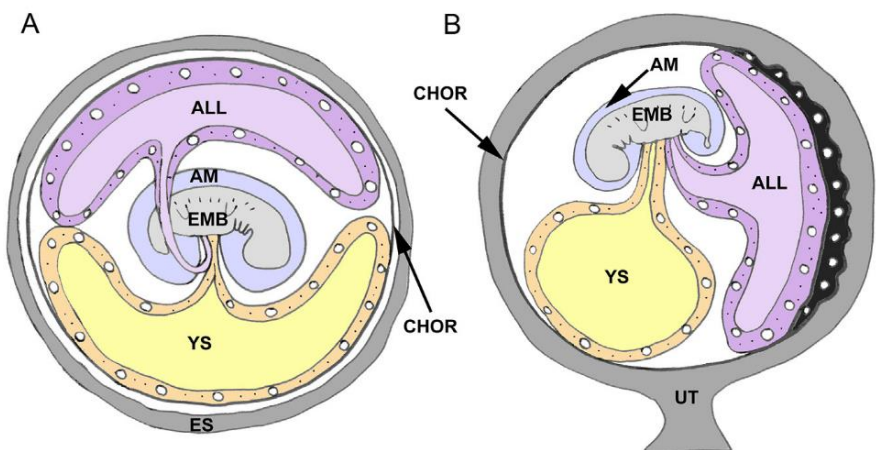
Selaput embrio pada amniota terdiri dari alantois, amnion, korion, dan kantung kuning telur. Baik perkembangan selaput janin maupun peran mereka dalam plasentasi sangat bervariasi

antara mamalia. Hal ini juga berlaku untuk rongga yang mereka tutupi; selain rongga alantois, amnion, dan kantung kuning telur, termasuk *exocoelom*. Dalam perkembangan manusia, terdapat tangkai alantois, tetapi tidak ada rongga alantois. Kantung kuning telur adalah struktur yang hanya bertahan singkat dan *exocoelom* dihilangkan pada akhir trimester kedua (Carter, 2016).

Kantung kuning telur merupakan selaput embrio paling primitif yang ditemukan pada semua vertebrata dan merupakan dasar plasentasi pada ikan yang vivipar. Amniota memiliki selaput janin yang lebih kompleks daripada hanya kantung kuning telur (Gambar 10.3A). Alantois bertindak sebagai organ pernapasan. Kantung kuning telur dan alantois terdapat di dalam cangkang yang berlapis-lapis dan di bawahnya terdapat korion. Akan tetapi, masih ada risiko kekeringan dan cangkang yang terkalsifikasi pada hewan-hewan yang terpengaruh proses evolusi. Hal ini terjadi pada kura-kura, buaya, dan dinosaurus (termasuk burung). Solusi alternatif yang dipilih oleh banyak reptil adalah viviparitas. Viviparitas ini disokong oleh struktur yang disebut dengan plasenta koriovitelin dan/atau korioalantois (Gambar 10.3B) (Sander, 2012).

Plasenta adalah organ untuk pertukaran antara ibu dan janin pembuluh darah ibu dan janin (nutrisi hemotrofik) atau dengan pinositosis dan fagositosis sekresi uterus, sisa-sisa sel dan sel darah merah induk (nutrisi histiotrofik). Seperti namanya, plasenta korioalantois berasal dari korion yang mensuplai pembuluh darah embrio dan jaringan ikat terkait. Sementara itu, plasenta koriovitelin memperoleh pembuluh darahnya dari kantung kuning telur. Bentuk utama plasentasi pada marsupial adalah plasenta koriovitelin, tetapi pada mamalia berplasenta ada yang sama sekali tidak ada karena membentuk struktur temporer atau dilanjutkan perkembangannya sebagai kantung kuning telur terbalik hingga cukup bulan sebelum kelahiran (Carter, 2016).

Sekitar 20% reptil bersifat vivipar meskipun tidak semuanya memiliki plasenta (Blackburn, 2015). Monotremata merupakan kasus khusus, karena meskipun bertelur, fase awal perkembangan embrio terjadi di dalam rahim dan didukung oleh sekresi induk yang diserap melalui kantung kuning telur (Freyer & Renfree, 2009). Semua marsupial memiliki plasenta koriovitelin sedangkan koala, wombat, dan bandekut memiliki tambahan plasenta korioalantois (Carter, 2016).



Gambar 8.3. Pembentukan Awal Selaput Embrio;
 (A) Pada Burung, Reptil, dan Monotremata; (B) Pada Mamalia;
 EMB : Embrio, CHOR : Korion, ES: Cangkang Telur, AM: *Amniotic Cavity*, ALL: Vesikula Alantois, YS: Kantung Kuning Telur, UT: Dinding Uterus
 (Sumber : Carter, 2016)

8.4.2 Selaput Embrio Pada Babi, Sapi dan Kuda

Dalam perkembangan awal babi (*Sus scrofa*), selaput embrio memiliki peran penting dalam plasentasi. Korion terbentuk dari lapisan mesoderm ekstraembrionik yang melapisi trofoblas. Alantois yang belum menyentuh korion tetapi kantung kuning telur telah menempel pada korion sebagai

omphalopleure bilaminar, dengan mesoderm vaskular di area kecil tertentu. Proses ini selanjutnya akan membentuk plasenta koriovitelina (*trilaminar omphalopleure*). Beberapa saat kemudian, pada allantois yang telah membesar dan mendorong kantung kuning telur, membentuk plasenta korioalantois (Carter, 2016).

Sapi (*Bos taurus*) mengalami proses perkembangan selaput embrio yang mirip dengan babi, tetapi membentuk plasenta dengan jenis kotiledonaria. Pada tahap kehamilan lanjut, terdapat dua kantung berisi cairan yang banyak. Ruang alantois disebut sebagai korioalantois. Amnion melebur pada beberapa tempat dengan korion, sehingga terbentuk amniokorion. Kotiledon terbentuk di tempat korioalantois bersentuhan dengan karunkel endometrium. Kotiledon embrio dan karunkel maternal membentuk plasentom yang merupakan tempat pertukaran nutrisi dan produk sisa. Daerah antar-plasentom memiliki struktur yang kurang kompleks, tetapi tetap berperan penting dalam interaksi maternal-janin. *Exocoelom* sebagian besar akan mengalami degradasi selama ekspansi kavitas amnion dan alantois (Carter, 2016).

Pada kuda (*Equus caballus*), kantung kuning telur berperan penting dengan menyerap sekresi kelenjar rahim (histiotrof). Proses ini dimulai segera setelah kapsula blastosis melebur pada sekitar hari ke-20 kehamilan dan ketika kantung kuning telur terbuka ke dalam rongga rahim. Selanjutnya, kantung kuning telur mengecil seiring dengan membesarnya alantois. Sabuk korionik antara alantois yang berkembang dan kantung kuning telur yang menyusut adalah sumber sel trofoblas invasif yang bermigrasi ke dalam dinding rahim untuk membentuk dinding endometrium (Adigun et al., 2017).

8.4.3 Selaput Embrio Pada Rodensia

Perkembangan awal selaput embrio pada mencit (*Mus musculus*) dimulai pada saat terjadi implantasi, dimana endoderm akan mulai menyebar ke permukaan dalam

trophectoderm. Selanjutnya, *trophectoderm* polar akan melebar membentuk konus ekto plasental, membalikkan epiblas ke dalam rongga kantung kuning telur (inversi). Endoderm yang melapisi epiblas disebut endoderm viseral dan akhirnya akan memberikan kontribusi pada plasenta kantung kuning telur. Di pusat epiblas terdapat pro-amnion. Bersamaan dengan terbentuknya mesoderm ekstraembrionik, rongga pusat akan melebar dan terbagi menjadi rongga ekto plasental, *exocoelom*, dan amnion. Kuncup alantois selanjutnya menonjol ke dalam *exocoelom* (Carter, 2016).

8.4.4 Selaput Embrio Pada Primata dan Manusia

Pada tahap awal perkembangan embrio manusia, endoderm melapisi rongga blastosis untuk membentuk kantung kuning telur primitif, yang biasanya disebut kantung kuning primer. Namun, kantung kuning primer ini tidak bertahan lama karena terbentuknya mesoderm ekstraembrionik yang cepat. Lakuna dalam mesoderm bergabung untuk membentuk *coelom* ekstraembrionik, yang bertahan selama trimester pertama. Hal ini meninggalkan struktur yang dibatasi oleh mesoderm di permukaan luar dan oleh endoderm di permukaan dalam yang biasanya disebut kantung kuning telur sekunder. Pada trimester pertama, kantung kuning telur manusia merupakan tempat hematopoiesis (Tavian et al., 2010), menjadi tempat penyimpanan sel germinal (De Felici, 2013), sumber alfa-fetoprotein (Adigun et al., 2017) dan berfungsi penting dalam metabolisme embrio dan pertukaran zat antara ibu dan janin (Carter & Enders, 2016).

Pada trimester kedua, ekspansi amnion mengarah pada penghilangan *coelom* ekstraembrionik dan regresi kantung kuning telur dimulai sekitar 45-50 hari kehamilan (Carter, 2016). Akibat dari implantasi interstitial, perkembangan embrio pada manusia dan kera terjadi di bawah desidua kapsularis (Carter et al., 2015). Meskipun pembuluh darah awalnya terbentuk di sekitar embrio, bagian yang berada di bawah kapsul akan mengalami atrofi, sehingga membentuk korion

halus. Pada trimester kedua, korion halus bergabung dengan desidua kapsularis dan parietal dalam proses yang melibatkan invasi desidua oleh sitotrofoblas (Genbacev et al., 2015). Pada trimester kedua juga, permukaan dalam korion halus bergabung dengan amnion (Carter, 2016).

Pada spesies Monyet Dunia Lama seperti *Langur*, *Colobus Monkey*, *Guenon*, *Baboon*, *Mandrill*, *Macaque* dan *Mangabey*, implantasi bersifat permukaan. Alantokorion di lokasi implantasi membentuk cakram plasenta. Pada banyak spesies tersebut, cakram sekunder terbentuk di sisi uterus yang berlawanan. Selain itu, selaput berkembang seperti halnya pada manusia (Carter, 2016).

DAFTAR PUSTAKA

- Adigun, O. O., Yarrarapu, S. N. S., Zubair, M., & Khetarpal, S. (2017). *Alpha Fetoprotein*. StatPearls Publishing LLC.
- Bellairs, R., & Osmond, M. (2014). Extra-Embryonic Membranes. In *Atlas of Chick Development* (pp. 127–129).
- Blackburn, D. G. (2015). Evolution of vertebrate viviparity and specializations for fetal nutrition: A quantitative and qualitative analysis. *Journal of Morphology*, 276(8), 961–990.
- Buerzle, W., & Mazza, E. (2013). On the deformation behavior of human amnion. *Journal of Biomechanics*, 46(11), 1777–1783.
- Carlson, B. M. (2014). Placenta and Extraembryonic Membranes. In *Human Embryology and Developmental Biology* (pp. 117–135).
- Carter, A. M. (2016). IFPA Senior Award Lecture: Mammalian fetal membranes. *Placenta*, 48 (October 2015), S21–S30.
- Carter, A. M., & Enders, A. C. (2016). Placentation in mammals: definitive placenta, yolk sac and paraplacenta. *Theriogenology*, 86(1), 278–287.
- Carter, A. M., Enders, A. C., Pijnenborg, R., & Carter, A. M. (2015). The role of invasive trophoblast in implantation and placentation of primates. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 370, 1–11.
- Castillo-Castrejon, M., Jansson, T., & Powell, T. L. (2018). Fetal maternal unit. In *Encyclopedia of Reproduction* (Second Edi, Vol. 2, Issue 1, pp. 477–483). Elsevier.
- Chuva, S. M., Lopes, D. S., Roelen, B. A. J., Lawson, K. A., & Zwijsen, A. (2022). The development of the amnion in mice and other amniotes. *Philosophical Transactions Royal Society*, 377, 1–10.
- De Felici, M. (2013). Origin, Migration, and Proliferation of Human Primordial Germ Cells. In *Histology and Embryology* (pp. 19–37).
- Freyer, C., & Renfree, M. B. (2009). The mammalian yolk sac placenta. *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution*, 312(6), 545–554.

- Genbacev, O., Vicovac, L., & Larocque, N. (2015). The role of chorionic cytotrophoblasts in the smooth chorion fusion with parietal decidua. *Placenta*, 36, 716–722.
- Nugroho, R. A. (2015). *Reproduksi Perkembangan Hewan*. Cahaya Atma Pustaka.
- Rao, T. K. S., Kumar, B., Chaurasia, S., Sharma, V. K., Baishya, A., Singh, A., & Patel, N. B. (2018). Fetal Membranes and Associated Complications in Dairy Animals: A Review. *Fetal Membranes and Associated Complications in Dairy Animals: A Review*, 8(3), 125–136.
- Richardson, L., & Menon, R. (2022). Fetal membrane at the fetomaternal interface : An underappreciated and understudied intrauterine tissue. *Placenta and Reproductive Medicine*, 1, 1–6.
- Sander, P. M. (2012). Reproduction in early amniotes. *Science*, 337(6096), 806–808.
- Tavian, M., Biasch, K., Sinka, L., Vallet, J., & Péault, B. (2010). Embryonic origin of human hematopoiesis. *Int. J. Dev. Biol.*, 54 (July), 1061–1065.

BAB 9

ORGAN UROGENITAL

9.1 Pendahuluan

Sistem urogenital terdiri sistem urinaria (*systema uropoetica*) dan sistem genital (*sytema genitalia*). Fungsi dari sistem urinari yaitu sebagai sistem ekskresi atau membuang zat yang membahayakan bagi tubuh dan sudah tidak diperlukan lagi dalam bentuk zat yang terlarutan pada air, sistem ekskresi terdapat pada organ ginjal. Sistem urogenital ini berkembang pada saat embrio dari mesoderm pada ductus excretoriusnya, caudal cavum hingga cloaca. Sistem urinari ini terbagi dua yaitu traktus urinaria atas dan traktus urinaria bawah. Bagian dari traktus urinaria atas yaitu pelvis renalis, ginjal dan ureter (Armijn et al., 2020). Pada traktus urinari bawah memiliki bagian uretra dan vesika ureter (Maharani et al., 2013)

Pada sistem genital memiliki perbedaan antara sistem genital eksterna jantan dan betina, hewan jantan memiliki sistem genital yaitu skrotum, testis dan penis. Pada hewan betina sistem genital yaitu ovarium, uterus dan vagina (Armijn et al., 2020). Sistem urogenital mengalami perkembangan dengan pembentukan beberapa lapisan mesoderm diantaranya notochord, neural dan endoderm. Menurut Nurhayati (2017), lapisan mesoderm diantaranya korda mesoderm, mesoderm dorsal, mesoderm intermediet akan membentuk sistem urogenital, mesoderm lateral dan mesoderm kepala.

9.2 Perkembangan Organ Urinari

Perkembangan sistem urinari memiliki dua tahapan yaitu maturasi dan organogenesis ginjal Nurhayati (2017). Ginjal memiliki tahapan pertumbuhan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Tahap Pronefros

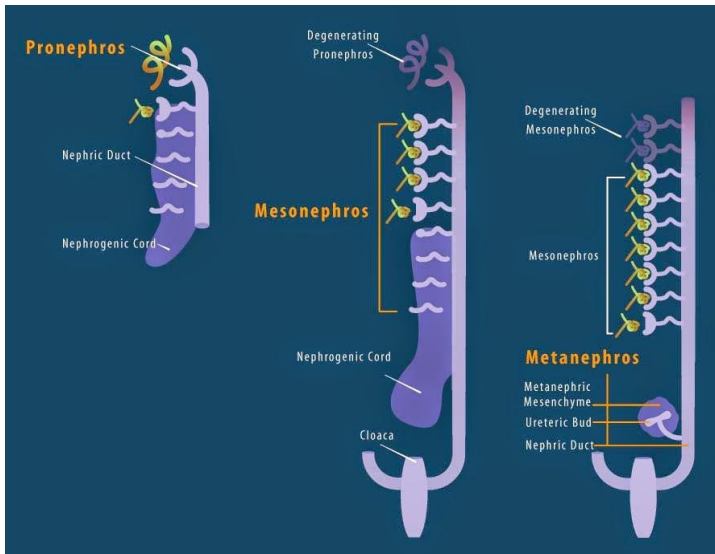
Merupakan proses tahapan perkembangan dari mesoderm intermediate menjadi duktus ginjal melalui diferensiasi. Pada tahap ini ginjal tidak memiliki glomerulus. Ginjal pada tahap ini muncul pada saat embrio. Pada aves, reptil, dan mamalia tampak sementara di embrio kemudian menghilang, sedangkan pada amfibi dan ikan pronefros akan hilang pada saat dewasa.

2. Tahap Mesonefros

Merupakan proses pembentukan ginjal transisi, terletak di bagian kaudal pronefros pada tahapan ini ginjal terdiri dari beberapa segmen. Pada saluran mesonefrik ini akan membawa sperma dan urin jika memiliki saluran reproduksi yang bersatu dengan saluran urinari. Pada tahap ini ginjal memiliki glomerulus yang berfungsi untuk proses ekskresi. Saluran ini akan terus berfungsi sampai dewasa pada hewan amfibi dan juga ikan. Sedangkan pada mamalia, aves dan reptil berfungsi hanya pada saat fase embrio, kemudian saluran ini menjadi saluran vas deferens.

3. Tahap Metanefros

Merupakan proses pembentukan ginjal definitif, terletak pada posterior mesonefros. Pada tahapan ini ginjal tidak memiliki nefrostom, hanya terdiri dari banyak glomerulus. Pada tahap ini, saluran dapat berfungsi pada mamalia, aves dan reptil hingga dewasa. Pada dasarnya yang membedakan tipe ginjal pronefros, mesonefros dan metanefros ini adalah jumlah glomerulus dan nefrostom dan segmennya. Berikut adalah gambar tahapan pembentukan ginjal :



Gambar 9.1. Tahapan Perkembangan Ginjal

Sumber : <https://www.edubio.info/2015/04/tiga-tahap-perkembangan-ginjal.html>

9.3 Organ Urinari

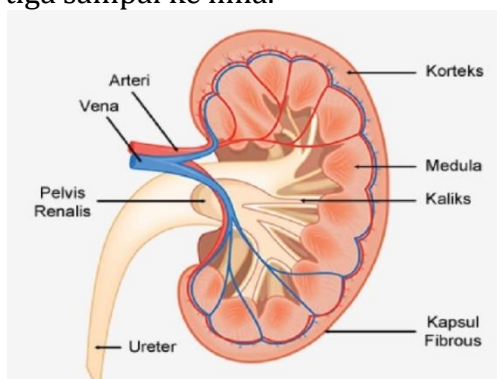
1. Ginjal

Organ ginjal adalah organ utama pada sistem urinari, hal ini dikarenakan organ ginjal dapat memproduksi urine, dan ditampung dan disalurkan oleh organ. Jumlah ginjal pada hewan adalah sepasang dengan letak pada cavum abdomen dan memiliki warna merah kecokelatan dan bentuknya seperti kacang.

a. Ginjal Mamalia

Ginjal pada hewan mamalia berjumlah sepasang dengan penghubungnya adalah pembuluh vena renal dan pembuluh arteri renal. Ureter sebagai saluran urin yang telah diproduksi ginjal yang selanjutnya bermuara pada kandung kemih dan dikeluarkan oleh uretra yang dikontrol oleh otot sphincter. Pada hewan mamalia, ginjal terbagi atas korteks yang merupakan bagian terluar

ginjal, medula yang terdapat pada korteks dan pelvis yang merupakan rongga ginjal. Unit fungsional terkecil pada ginjal adalah nephron dengan selubung kapsul Bowman. Menurut Armijn et al., (2020), pada ternak sapi ginjal memiliki bentuk berlobus-lobus dengan letak ginjal bagian kanan memiliki posisi lebih cranial dibandingkan dengan ginjal bagian kiri. Kambing memiliki ginjal kanan yang terdapat pada costae dengan dua sampai tiga lumbar pertama dan ginjal kiri pada lumbar ke tiga sampai ke lima.



Gambar 9.2. Ginjal Hewan Mamalia

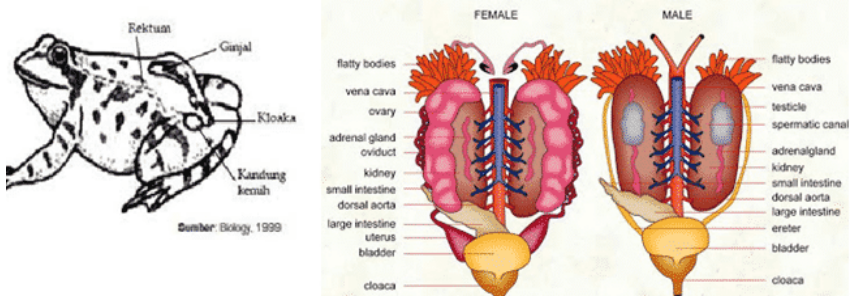
Sumber :

<http://www.erwinedwar.com/2018/04/struktur-anatomis-sistem-urinaria.html>

b. Ginjal Amfibi

Amfibi memiliki karakteristik hidup pada dua alam sehingga memiliki sistem organ dengan penyesuaian pada tempat hidupnya. Amfibi saat di dalam air, berudu atau hewan amfibi ini menggunakan ginjal dengan tipe mesonefros. Pada katak dewasa, ginjal yang digunakan adalah tipe opisthonefros yang terdapat pada saluran urogenital yaitu di lubang kloaka. Pada hewan amfibi menghasilkan nitrogen dengan kandungan amonia dan urea. Ginjal memiliki fungsi penting pada saat tubuh katak memiliki kandungan air yang berlebih maka akan

dikeluarkan oleh ginjal. Fungs filtrasi pada ginjal dilakukan oleh kantung kemih.

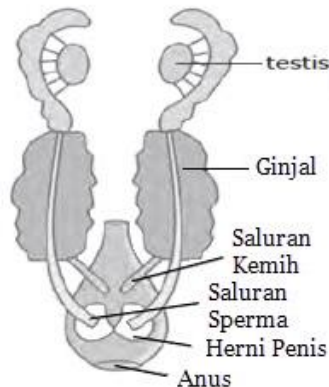


Gambar 9.3. Organ Ginjal Katak

Sumber : <https://duniapendidikan.co.id/ciri-amfibi/>

c. Ginjal Reptil

Ginjal pada hewan reptil memiliki struktur lobulated. Hasil ekskresi berupa urea, amonia dan *uric acid*. Hewan reptil yang memiliki kantung kemih diantaranya adalah ular dan buaya sedangkan kadal ada yang beberapa diantaranya tidak memilikinya. Kadal yang memiliki kantung kemih berupa saluran uretra yang pendek.



Gambar 9.4. Organ Ekskresi Reptil

Sumber : <https://www.mikirbae.com/2016/02/sistem-ekskresi-pada-hewan.html>

d. Ginjal Aves

Ginjal pada Aves merupakan alat ekskresi sisa metabolik yang dilakukan oleh glomerulus. Ekskresi yang dihasilkan oleh ginjal ini dikeluarkan bersama feses yang disebut ekskreta. Aves tidak memiliki portal renal sehingga semua absorpsi urea diserap oleh glomerulus. Ginjal pada Aves memiliki sepasang dan berbentuk seperti biji kacang dengan warna coklat gelap.

Proses yang terjadi pada ginjal diantaranya adalah filtrasi, reabsorpsi dan augmentasi, tersaji dalam tabel berikut ini :

Tabel 9.1. Proses Pada Ginjal

Proses	Tempat	Hasil	Kandungan
Filtrasi	Glomerulus	Urine Primer/ Filtrat Glomerulus	Darah Tanpa Protein, banyak zat berguna
Reabsorpsi	Tubulus Kontortus Proksimal	Urine Sekunder/ Filtrat Tubulus	Tanpa zat berguna, ada <i>ureum</i>
Augmentasi	Tubulus Kontortus Distal	Urine	Ada H^+ , K, <i>keratin</i> , banyak <i>ureum</i>

Sumber : <https://generasibiologi.com/2018/02/sistem-ekskresi-pada-hewan.html>

2. Ureter

Ureter adalah ductus excretorius yang merupakan suatu saluran sempit pada ginjal. Ginjal memiliki ureter yang berjumlah satu buah, ureter berasal dari pangkal pelvis renalis hingga vesica urinari. Ureter memiliki dinding yang terdiri dari : Lapisan fibrosa, lapisan muscularis dan membran mucosa.

3. Vesica Urinari

Vesica urinari sebagai tempat penampungan sementara hasil penyerapan ginjal dan urin. Vesica urinari memiliki bentuk yang menyesuaikan dari isi yang

ditampung, artinya jika dalam keadaan kosong maka saluran ini akan mengerut dan berbentuk piriformis dan pada saat terisi maka bentuknya akan mengembang oval dan melebar sepanjang cavum pelvis. Bagian fundus memiliki corpus vesica urinari yang membulat dan memipih. Sedangkan pada bagian caudal dan cranial akan lebih sempit yang menghubungkan dengan urethra. Vesica urinaria terdiri dari, facies dorsal dan facies vebtral. Pada dinding vesica urinari memiliki lapisan luar yang dinamakan tunica serosa, lapisan tunica muscularis bagian dorsal dan lateral, dan lapisan tunica mukosa atau rongga vesica urinari.

9.4 Perkembangan Organ Genital

Organ genital merupakan perkembangan dari genital ridge epitel germinal, sel-sel germinatif primitif, dan jaringan rete mesonefros (Nurhayati, 2017). Organ genital gonad pada mulanya memiliki sifat indifferen antara testis dan ovum(Armijn et al., 2020). Organ Genital memiliki susunan yang terdiri dari sel interestial, sel gamet dan sel epitel mesoderm. Organ genital terdiri dari organ genital jantan dan organ genital betina. Organ genita jantan semula berasal dari duktus mesonefros anterior menjadi duktus epididimis, sedangkan suktus mesonefros posterior menjadi vas deferens, dan organ kopulasi jantan berasal dari evaginasi ectoderm. Pada organ genital betina bermula pada duktus paramesonephridicus yang membentuk vagina, uterus dan oviduk. Perbedaan organ genital jantan dan betina tersaji dalam gambar tabel berikut .

Tabel 9.2. Perbedaan organ genital jantan dan betina

Stadium Indiferen	Jantan	Betina
Gonad	Testis (medula)	Ovarium (korteks)
Pita seks	Tubulus seminiferous (sel sertoli)	Sel folikel
BSK	Spermatogonium	Oogenia
Ductus mesonefros (Saluran Wolff)	Ductus epididymis dan Vas deferens	Degenerasi (saluran menjadi kista Gartner)
Ductus paramesonefros (Saluran Muller)	Degenerasi	Oviduk dan uterus
Sinus urogenital atas	Kantung urin, uretra atas (anterior)	Kantung urin, uretra atas (anterior)
Sinus urogenital bawah	Uretra bawah (kaudal)	Vestibul
Tuberkel genital	Penis	Klitoris
Lipatan genital	Alat uretra penis	Labira minora
Pembengkakan genital	Skrotum	Labira mayora

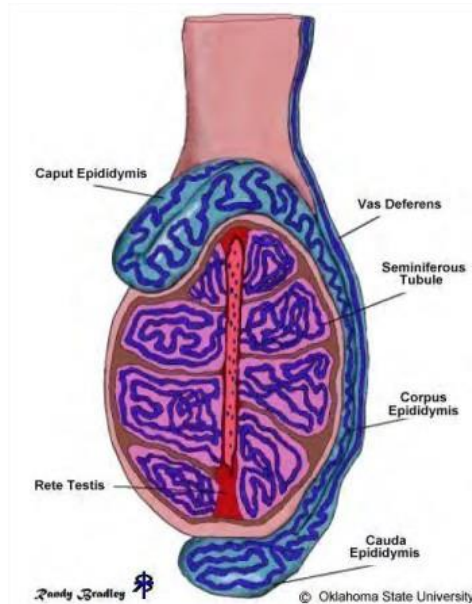
Sumber : Armijn et al. (2020)

9.4.1. Bagian Organ Genital Jantan/Masculina

1. Testis

Organ testis merupakan organ yang memiliki jumlah sepasang yang letaknya di bagian atas abdominal, memiliki warna kuning kecokelatan. Organ ini memiliki peran penting dalm menghasilkan sperma pada tubulus seminiferus dan penghasil hormon reproduksi jantan di bagian sel leydig. Testis pada unggas memiliki perbedaan dari testis lainnya, yaitu tidak berada pada skrotum. Sekresi hormon reproduksi jantan pada testis diantaranya adalah hormon androgen dan hormon testosterone yang dipengaruhi oleh Intertitial Cell Stimulating Hormone (ICSH). Struktur-struktur testis diantaranya adalah a. Tunika albuginea, b. Septum testis, c. Tubulus seminiferus, d. Rete testis e. Ductus

efferentis, f. Caput Epididymis, g. Corpus Epididymis, h. Cauda epididymis, i. Vasdeferens.



Gambar 9.4. Organ Testis

Sumber : <https://hayatalfalah.blogspot.com/2017/02/sistem-reproduksi-hewan-ruminansia.html>

2. Epididymis

Merupakan organ yang berjumlah sepasang dengan fungsinya sebagai penampung sementara sperma, pemekatan sperma, pematangan sperma dan penyaluran sperma pada saluran ductus deferensi. Epididimis memiliki tiga bagian yaitu caput epididymis yang memiliki bentuk U, corpus epididymis memiliki bentuk lurus dan cauda epididymis terletak bagian bawah epididimis yang membelok.

3. Scrotum

Berbentuk kantong sebagai pembungkus testis yang memiliki kulit tipis. Lapisan scrotum ini terdiri dari kulit, tunica dartos, fascia, tunica vaginalis

4. Ductus Defferent

Saluran yang berjumlah sepasang memiliki fungsi menyalurkan sperma dari epididimis ke alat kopulasi. Ductus deferens memiliki dinding yang mengandung otot-otot licin mengandung sel epitel yang memiliki dua lapisan dan dibungkus peritoneum.

5. Penis

Penis adalah organ kopulasi jantan yang terdiri dari bagian glandula penis, corpus dan radix. Penis memiliki bentuk berbeda-beda pada masing-masing hewan, mayoritas oenis akan memiliki bentuk silindris apabila ereksi akan memanjang. Bagian dalam penis diantaranya : Glans penis, Collum penis, Corona glandis, Fossa glandis, Processus urethra, Flexura sigmoid.

9.4.2. Organ Genitalia Feminina

1. Ovarium

Ovarium memiliki fungsi sebagai organ penghasil sel telur yang bermula dari folikel hingga menjadi ovum yang siap diovulasikan. Pada organ ovarium dihasilkan hormon progesterone dan estrogen. Ovarium hewan memiliki bagian antara lain lateral, facies dan medial. Ovarium memiliki penggantung yang dinamakan mesovarium.

2. Oviduct

Oviduct pada hewan unggas memiliki komponen yang lebih kompleks dibandingkan dengan oviduct pada hewan lain, hal ini karena pada unggas terjadi pembentukan telur. Oviduct pada unggas terdiri dari infundibulum, magnum, isthmus, dan uterus. Masing-masing pada bagian ini memiliki perannya dalam proses produksi telur. Fimbriae berada di ujung oviduct paling besar dinamakan infundibulum. Infundibulum sebagai saluran atas yang berfungsi menangkap ovum yang telah diovulasikan. Magnum sebagai saluran penghasil albumin telur, sedangkan isthmus sebagai saluran penghasil kerabang lunak dan untuk uterus merupakan saluran penghasil

kerabang keras. Uterus pada hewan lain sebagai organ lanjutan oviduct yang terdiri dari cornu uteri, corpus uteri dan servix uteri

3. Vagina

Saluran reproduksi yang menghubungkan uterus dengan saluran akhir reproduksi. Vagina dalam unggas memiliki fungsi penghasil lapisan kutikula telur. Pada organ vagina akan membentuk fornix vagina dan salurannya menyempit

4. Vulva

Merupakan bagian yang terakhir dari organ genital betina, yang memiliki bentuk corong dan bermuara. Vulva adalah organ orificium externa pada commisura dorsal. Vulva memiliki fungsi sebagai organ masuknya alat kopulasi jantan pada hewan.

DAFTAR PUSTAKA

- Armijn, A., A.P.D. Nurhayati, A.P.D., Sa'adah, N.N., 2020. Pembentukan Sistem Urogenital Mamalia. Artikel. Researchgate.
- Chaeri, A., Kusbiyanto, Susatyo, P., Sugiharto.2016. Ciri-ciri dan Pola Perkembangan Tubuh Hewan Vertebrata. Modul 1 Struktur Hewan. Universitas Terbuka.
- Maharani, T.K. 2013. Faktor-faktor yang Berpengaruh terhadap Kejadian Kelainan Kongenital Sistem Urogenital pada Neonatus. J. Media Muda.
- Nurhayati, A.P.D. 2017. Perkembangan Hewan. ITS Press . Surabaya.

BAB 10

PEMBENTUKAN SISTEM PEREDARAN DARAH

10.1 Pendahuluan

Sistem sirkulasi dibangun oleh darah, sebagai medium transportasi tempat bahan-bahan yg akan disalurkan dilarutkan atau diendapkan, pembuluh darah yang berfungsi sebagai saluran untuk mengarahkan dan mendistribusikan darah dari jantung ke seluruh tubuh dan mengembalikannya ke jantung, dan jantung yang berfungsi memompa darah agar mengalir ke seluruh jaringan.

Sistem sirkulasi berperan dalam homeostatis dengan berfungsi sebagai sistem transportasi tubuh dengan mengangkut oksigen, karbondioksida, zat-zat sisa, elektrolit, nutrisi dan hormon dari satu bagian tubuh ke bagian tubuh yang lain. Bagaimanakah sistem ini bekerja? Berikut ini akan dipaparkan hal-hal yang terkait dengan sistem peredaran darah pada manusia.

10.2 Darah

Darah adalah fluida yang mengalir pada tubuh manusia dan vertebrata tingkat tinggi lainnya (M. Hoffman, 2014). Darah berperan penting dalam semua proses fisiologis yang terjadi di dalam tubuh makhluk hidup. Darah berperan penting sebagai fluida yang membawa nutrisi ke seluruh bagian tubuh, kemudian membawa kembali hasil metabolisme nutrisi tersebut untuk kemudian dilanjutkan pada proses ekskresi hasil

metabolisme tersebut yang melibatkan bantuan organ-organ eksresi seperti paru-paru, ginjal, dan kulit.

Sebanyak 7-8% berat tubuh manusia ditentukan oleh volume darah (Carter, 2018) yang mengalir setiap waktu melalui pembuluh arteri dan venanya yang dipompa oleh jantung. Darah memiliki temperatur normal pada suhu 38°C, dengan pH yang berkisar antara 7.35 hingga 7.45. Peranan pH sangat penting karena berperan sebagai sistem buffer untuk menjaga asam-basa kondisi darah yang berpengaruh pada fisiologis manusia. Darah yang memiliki kandungan oksigen tinggi akan memiliki warna merah yang lebih terang. Namun sebaliknya pada darah yang rendah kadar oksigennya akan memiliki warna merah yang lebih gelap.

Volume darah pada manusia berbeda dikarenakan perbedaan pada jenis kelamin, yang menentukan proporsi ukuran tubuh. Laki-laki dewasa memiliki kisaran volume darah 5-6 L, sedangkan pada wanita dewasa berkisar antara 4-5 L (Tortora & Derrickson, 2017). Darah sendiri memiliki dua komponen utama yang terdiri dari komponen cair dan komponen padat. Komponen cair yaitu plasma darah, dan komponen padat terdiri dari sel darah merah atau yang disebut sebagai eritrosit, sel darah putih atau leukosit, dan keping darah atau trombosit yang berperan dalam proses pembekuan darah (American Society of Hematology, 2018). Keseluruhan komponen darah yang mengalir pada tubuh 2 Hematologi Dasar manusia dikenal sebagai whole blood, yang tersusun atas sebagian besar 55% adalah plasma darah, dan sisanya sebanyak 45% adalah sel-sel darah.

Adapun fungsi darah yang selama ini diketahui, meliputi sebagai berikut:

1. Sebagai alat pengangkut yaitu,
 - a. mengambil oksigen/zat pembakaran dari paru-paru untuk diedarkan ke seluruh jaringan tubuh.

- b. Mengangkat karbondioksida dari jaringan untuk dikeluarkan melalui paru-paru.
 - c. Mengambil zat-zat makanan dari usus halus untuk diedarkan dan dibagikan ke seluruh jaringan/alat tubuh.
 - d. Mengangkat/mengeluarkan zat-zat yang tidak berguna bagi tubuh untuk dikeluarkan melalui kulit dan ginjal.
2. Sebagai pertahanan tubuh terhadap serangan penyakit dan racun dalam tubuh dengan perantara leukosit dan antibody/zat-zat antiracun.
 3. Menyebarkan panas ke seluruh tubuh.

Darah memiliki hubungan yang erat dengan sistem peredaran darah. Sistem peredaran darah tidak dapat dilepaskan pula hubungannya dengan sistem pernafasan, sistem pencernaan, sistem ekskresi, sistem sekresi, dan sistem kekebalan tubuh (imun) pada manusia. Darah juga dikenal sebagai jaringan penghubung yang berbentuk cair (*fluid connective tissue*), karena Darah 3 sel-sel darah turut mengalir dan bersirkulasi di dalam tubuh dan menjalankan fungsi untuk sistem tubuh manusia (Rice University, 2018). Darah yang mengalir dalam tubuh manusia mengandung berbagai komponen yang dibutuhkan untuk setiap sistem yang bekerja, seperti glukosa dan nutrient lainnya yang dihantarkan ke setiap sel di setiap organ, sehingga mampu menyokong fungsi fisiologis manusia.

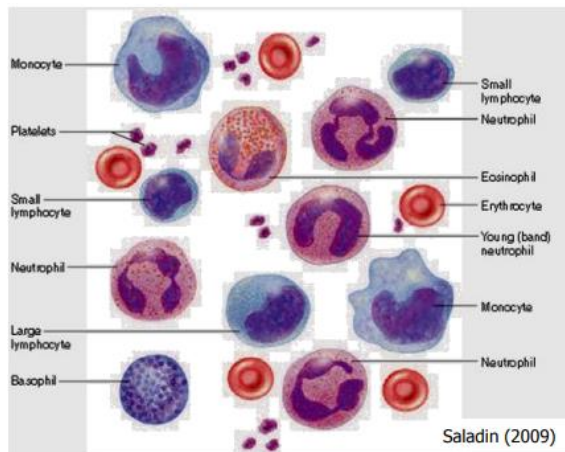
Peredaran darah manusia tidak dapat dilepaskan dari kerja fungsi organ jantung, yang berperan sebagai pompa untuk mengalirkan darah ke seluruh anggota tubuh (sistem kardiovaskular). Selain itu, pembuluh darah arteri dan vena berperan penting dalam mengalirkan darah ke setiap organ, yang kemudian disambung oleh pembuluh kapiler, dengan ukuran yang lebih kecil, sehingga mampu menembus jaringan di setiap organ, dan berfungsi dalam transport hasil metabolisme yang dihasilkan. Pembuluh arteri dan vena dibedakan berdasarkan pada arah darah yang dibawa. Pembuluh arteri

membawa darah dari jantung menuju ke seluruh organ tubuh. Sedangkan pada pembuluh vena, berperan dalam membawa darah dari seluruh organ kembali menuju jantung. Untuk pengecualian, vena porta berperan untuk membawa darah diantara dua kapiler. Sebagai contoh, vena porta hepatica membawa darah dari kapiler sistem pencernaan menuju ke organ hati (Reece et al., 2011). Pembuluh darah arteri dan vena memiliki ketebalan dinding yang berbeda. Dinding pembuluh arteri lebih tebal dibandingkan dengan pembuluh vena. Namun, secara anatomi, kedua pembuluh memiliki dua selaput yang membungkus endothelium (bagian dalam pembuluh darah). Bagian terluar kedua pembuluh secara berurutan tersusun atas jaringan penghubung (*connective tissue*), seperti serabut elastis (*elastic fiber*) dan kolagen dan pada bagian selanjutnya tersusun atas otot polos (*smooth muscle*) dan serabut elastis (*elastic fiber*).

Sistem peredaran darah pada manusia termasuk pada sistem peredaran tertutup, yang terbagi menjadi dua jalur, yaitu jalur paru-paru (*pulmonary circuit*), dan jalur seluruh tubuh (*systemic circuit*) (Whittemore, 2009). Jalur paru-paru (*pulmonary circuit*) berperan sebagai tempat pertukaran darah kaya O₂ dengan darah yang miskin O₂ (kaya akan kadar CO₂), yang dilakukan pada organ jantung di sebelah kanan. Jalur seluruh tubuh (*systemic circuit*) berperan untuk mengalirkan darah kaya akan oksigen, yang akan dipompa menuju seluruh organ tubuh manusia, dan dilakukan oleh organ jantung di sebelah kiri. Selama proses pemompaan darah dari jantung ke seluruh tubuh, lalu dari seluruh tubuh menuju kembali ke jantung, sistem syaraf dan hormon berperan dalam mengatur detak jantung (*heart rate*) dan tekanan darah (*blood pressure*). Tekanan darah terjadi sebagai hasil gaya yang diberikan oleh darah terhadap dinding pembuluh darah ketika darah dipompa oleh jantung dari dan menuju ke jantung kembali. Saat terjadi pemompaan darah oleh jantung, pembuluh darah, arteri dan vena memiliki elastisitas untuk mengempis (dilatasi) atau berkontraksi dengan mengembang sehingga tetap menjaga darah mengalir dengan normal ke seluruh tubuh (Rogers, 2008).

10.3 Komposisi Darah

Darah adalah jaringan, dan, seperti jaringan apapun, mengandung sel dan fragmen sel. Secara kolektif, sel-sel dan fragmen sel disebut elemen padat. Sel dan fragmen sel tersuspensi dalam cairan yang disebut plasma. Oleh karena itu, darah diklasifikasikan sebagai jaringan ikat cair. Elemen padat pada darah adalah sel darah merah (eritrosit), sel darah putih (leukosit), dan keping darah (trombosit) (Gambar 1). Bagian ini diproduksi di sumsum tulang merah, yang dapat ditemukan di sebagian besar tulang anak tetapi hanya dalam tulang tertentu pada orang dewasa.



Gambar 10.1. Elemen padat darah

Jika sampel darah disentrifugasi, terlihat pada bagian teratas cairan berwarna kuning pucat yang volumenya sekitar 55% dari volume total. Cairan tersebut dinamakan plasma. Plasma adalah media transportasi bagi sel-sel darah dan trombosit. Sekitar 90% dari plasma adalah air. Sisanya bagian yang terlarut meliputi protein, hormon, dan lebih dari 100 molekul berukuran kecil (termasuk asam amino, lemak, karbohidrat kecil, vitamin, dan berbagai produk limbah metabolisme), dan ion.

Kelompok terbesar zat terlarut dalam plasma terdiri dari protein plasma, yang melayani berbagai fungsi. Protein plasma penting adalah albumin, globulin, dan protein pembekuan (fibrinogen). Hampir dua pertiga dari protein plasma adalah albumin, yang terutama berfungsi untuk menjaga keseimbangan air agar sesuai antara darah dan cairan interstitial. Diproduksi di hati, Albumin juga mengikat molekul tertentu (seperti bilirubin dan asam lemak) dan obat-obatan (seperti penisilin) dan membantu transportasi mereka dalam darah. Globulin (alpha, beta, dan gamma) adalah kelompok protein yang mengangkut berbagai zat dalam darah. Banyak beta globulin mengikat lipid (lemak) molekul, seperti kolesterol. Ketika protein menempel ke salah satu molekul-molekul ini, menciptakan sebuah kompleks yang disebut lipoprotein. Dua lipoprotein penting adalah low-density lipoprotein (LDL) dan highdensity lipoprotein (HDL). LDL kadang-kadang disebut "kolesterol jahat", karena jika kadarnya dalam darah tinggi dikaitkan dengan peningkatan risiko masalah kesehatan jantung. Tingginya kadar HDL sering menunjukkan risiko lebih rendah terhadap penyakit kardiovaskular. Gamma globulin berfungsi sebagai bagian dari sistem pertahanan tubuh, membantu melindungi terhadap infeksi dan penyakit.

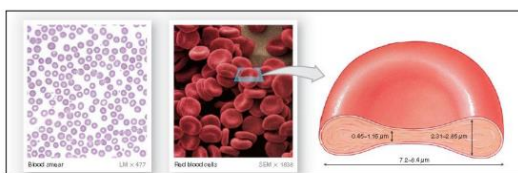
Protein pembekuan seperti fibrinogen, memainkan peran penting dalam proses pembekuan darah. Pembekuan darah meminimalkan kehilangan darah dan membantu mempertahankan homeostasis setelah cedera. Selain protein plasma, plasma mengangkut berbagai molekul lain, termasuk ion (juga disebut elektrolit), hormon, nutrisi, produk-produk limbah, dan gas. Elektrolit seperti natrium dan kalium berkontribusi pada pengendalian fungsi sel dan volume sel. Hormon yang dikeluarkan kelenjar endokrin, mengangkut informasi ke seluruh tubuh. Nutrisi seperti karbohidrat, asam amino, vitamin, dan zat-zat lain yang diserap dari saluran pencernaan atau diproduksi oleh reaksi metabolisme sel. Produk limbah dalam plasma termasuk karbon dioksida, urea, dan asam laktat. Gas terlarut dalam plasma adalah oksigen yang penting untuk

metabolisme dan karbondioksida yang merupakan produk sisa metabolisme.

10.2.1 Sel Darah Merah (Eritrosit)

Dalam darah, jumlah eritrosit sekitar 700 kali lebih banyak dibandingkan sel-sel darah putih (leukosit) dan 17 kali lebih banyak dari keping darah (trombosit). Setiap laki-laki dewasa dalam 1 mikroliter atau 1 milimeter kubik (mm^3) darahnya mengandung sekitar 4,5 – 6,3 juta eritrosit, sedangkan perempuan dewasa mengandung 4,2 – 5,5 juta eritrosit. Jumlah eritrosit yang lebih tinggi pada laki-laki karena laki-laki memiliki tingkat metabolisme yang lebih tinggi daripada perempuan, dan konsentrasi eritrosit yang lebih besar diperlukan untuk menyediakan oksigen yang dibutuhkan untuk metabolisme sel-sel.

Kalau kita periksa dan kita lihat dibawah mikroskop maka nyatalah bahwa eritrosit dapat diterangkan sebagai berikut : Eritrosit yang normal berbentuk cakram atau piringan yang di bagian tengah kedua sisinya mencekung (bikonkaf), dengan diameter sekitar $7,5 \mu\text{m}$. Bentuk bikonkaf memberikan keuntungan yaitu menjadikan eritrosit memiliki permukaan yang lebih luas bagi difusi oksigen, dibandingkan dengan bentuk bulat datar dengan ukuran yang sama, dan membuat pergerakan gas ke dalam dan ke luar sel berlangsung lebih cepat. Selain itu eritrosit juga bersifat fleksibel sehingga memungkinkan eritrosit berjalan melalui kapiler yang sempit dan berkelok-kelok untuk menyampaikan oksigen ke jaringan tanpa mengalami kerusakan. Diameter eritrosit dalam keadaan normal $7,5 - 8 \mu\text{m}$ mampu mengalami deformasi pada saat melalui kapiler yang bahkan berdiameter $3 \mu\text{m}$. Eritrosit tidak memiliki inti atau organel yang lain. Sepertiga isi eritrosit adalah haemoglobin (pigmen merah). Kandungan haemoglobin dalam eritrosit inilah yang menjadikan darah berwarna merah. Dalam satu eritrosit mengandung sekitar 280 juta molekul haemoglobin. Isi sel darah merah lainnya termasuk lipid, adenosin trifosfat (ATP), dan enzim karbonat anhidrase.

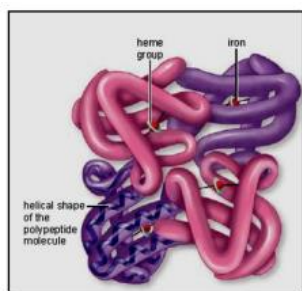


Gambar 10.2. Struktur Eritrosit

Eritrosit memiliki dua fungsi utama, yaitu mengangkut oksigen dari paru-paru dan mengendarkannya ke jaringan yang lain. Eritrosit juga mengangkut karbondioksida dari jaringan untuk dibawa ke paru-paru. Pengangkutan gas dalam eritrosit dilakukan oleh haemoglobin.

Haemoglobin

Haemoglobin terdiri atas dua bagian, yaitu globin suatu protein polipeptida yang sangat berlipat-lipat. Gugus nitrogenosa non protein mengandung besi yang dikenal sebagai hem (heme) yang masing-masing terikat pada satu polipeptida. Setiap atom besi dapat berikatan secara reversibel dengan satu molekul oksigen. Dengan demikian setiap molekul haemoglobin dapat mengangkut empat oksigen. Karena oksigen kurang larut dalam darah, 98,5% oksigen yang diangkut dalam darah terikat pada Hb.



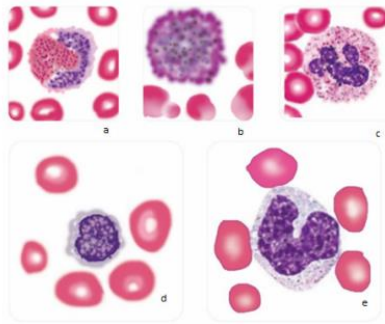
Mader & Windelspecht (2011)

Gambar 10.3. Molekul Haemoglobin

Ketika darah mengalir melalui paru-paru, oksigen berdifusi dari ruang udara di paru-paru ke dalam darah. Oksigen memasuki eritrosit dan bergabung dengan hemoglobin membentuk oksihemoglobin (HbO_2), yang memberikan warna merah terang untuk darah. Setelah melepas oksigen dari oksihemoglobin ke sel-sel tubuh, darah yang telah melepaskan oksigennya (deoxyhemoglobin) dan membawa sejumlah kecil karbondioksida dari sel-sel tubuh kembali ke paru-paru untuk melepaskan karbondioksida. Deoxyhemoglobin memberikan warna merah gelap (rona kebiruan) untuk darah. Selain mengangkut oksigen, Hb dapat berikatan dengan karbondioksida. Bagian ion hidrogen asam (H^+) dari asam karbonat yang terionisasi yang dibentuk dari CO_2 pada tingkat jaringan. Enzim karbonat anhidrase berperan penting dalam mengangkut CO_2 . Enzim ini mengkatalis reaksi kunci yang akhirnya menyebabkan perubahan CO_2 hasil metabolisme menjadi ion bikarbonat (HCO_3^-) yaitu bentuk utama transportasi CO_2 dalam darah. Dengan demikian eritrosit ikut serta dalam pengangkutan CO_2 melalui 2 cara melalui Hb dan konversi ke HCO_3^- oleh karbonat anhidrase. Hb juga dapat mengikat karbonmonoksida membentuk karboksihaemoglobin, gas yang dalam keadaan normal tidak terdapat dalam darah tetapi jika terhirup menempati tempat pengikatan O_2 di Hb sehingga dapat menyebabkan keracunan karbonmonoksida.

10.2.2 Sel Darah Putih (Leukosit)

Leukosit (leuko = putih, cyte = sel) atau sel darah putih merupakan sel darah yang masih mempunyai inti sel, berbeda dengan eritrosit (eritrosit). Leukosit juga tidak mempunyai hemoglobin maupun kemampuan untuk membawa oksigen (Tortora et al., 2010). Selain itu, leukosit dinamai demikian juga karena relatif lebih tidak berwarna jika dibandingkan dengan eritrosit. Leukosit pada umumnya dibedakan menjadi 5 kelompok, yaitu neutrofil, basofil, eosinofil, monosit, dan limfosit. Kelima jenis leukosit tersebut masing-masing mempunyai karakteristik dan fungsi berbeda.



Gambar 10.4. Lima jenis leukosit: (a) eosinofil, (b) basofil, (c) neutrofil, (d) limfosit, dan (e) monosit (diadaptasi dari Tortora et al., 2010)

Kisaran jumlah leukosit darah normal adalah $4,3-10,8 \times 10^9$ /L. Neutrofil dan limfosit menyusun komposisi leukosit dengan persentase terbesar, secara 52 Hematologi Dasar berturut-turut 45-74% dan 16-45%. Sisanya, monosit menyusun 4-10%, eosinofil 0-7%, dan basofil 0-2% dari total leukosit (Rodak et al., 2016).

Fungsi leukosit secara keseluruhan adalah dalam memediasi kekebalan, baik bawaan (nonspesifik), atau spesifik (adaptif). Respon kekebalan bawaan contohnya adalah fagositosis oleh neutrofil, sedangkan respon kekebalan adaptif seperti dalam produksi antibodi oleh sel plasma (Rodak et al., 2016). Dalam respon kekebalan, beberapa leukosit meninggalkan aliran darah dan mengumpulkan pada titik-titik invasi patogen atau peradangan. Granulosit dan monosit meninggalkan aliran darah untuk melawan cedera atau infeksi, setelah itu mereka tidak pernah kembali lagi ke aliran darah. Pada sisi lain, limfosit tetap berada dalam sistem sirkulasi, dari darah ke ruang interstisial jaringan ke cairan limfatik dan kembali ke darah. Hanya 2% dari populasi limfosit total yang beredar dalam darah pada suatu waktu tertentu; sisanya berada dalam cairan limfatik dan organ-organ seperti kulit, paru-paru, kelenjar getah bening, dan limpa (Tortora et al., 2010).

10.2.3 Trombosit (Sel Pembeku)

Trombosit merupakan benda-benda kecil yang mati yang bentuk dan ukurannya bermacam-macam, ada yang bulat, lonjong, warnanya putih, normal pada orang dewasa 200.000-300.000/mm³. Fungsinya memegang peranan penting dalam pembekuan darah. Jika banyaknya kurang dari normal, maka kalau ada luka darah tidak lekas membeku sehingga timbul perdarahan yang terus-menerus. Trombosit lebih dari 300.000 disebut trombositosis. Trombosit yang kurang dari 200.000 disebut trombositopenia. Didalam plasma darah terdapat suatu zat yang turut membantu terjadinya peristiwa pembekuan darah, yaitu Ca²⁺ dan fibrinogen. Fibrinogen mulai bekerja apabila tubuh medapat luka.

Trombosit memiliki banyak karakter fungsional sel meskipun tidak memiliki nukleus dan tidak dapat melakukan reproduksi sel. Sitoplasma trombosit mengandung berbagai macam molekul penting seperti :

1. Molekul aktin dan miosin yang merupakan protein kontraktile, serupa dengan protein yang terdapat pada sel otot
2. Thrombostenin, juga merupakan protein kontraktile yang membuat trombosit dapat berkontraksi
3. Residu badan golgi dan retikulum endoplasma yang masih dapat melakukan fungsi sintesis enzim dan menyimpan ion kalsium dalam jumlah besar.
4. Mitokondria dan sistem enzim untuk melakukan respirasi aerob dan menghasilkan ATP juga ADP
5. Sistem enzim yang dapat menyintesis prostaglandin sebagai hormon lokal yang menyebabkan reaksi vaskular dan jaringan lain di sekitar trombosit tersebut.
6. Protein fibrin-stabilizing factor yang berperan penting dalam proses pembekuan darah
7. Faktor pertumbuhan (Trombosit Derived Growth Factor/PDGF) yang menyebabkan sel endotel pembuluh darah, sel otot pada pembuluh darah dan fibroblas dapat

melakukan replikasi serta pertumbuhan untuk proses perbaikan jaringan/pembuluh darah yang rusak (Guyton & Hall, 2006).

10.2.4 Plasma Darah

Plasma darah merupakan komponen terbanyak pada whole blood yang memenuhi hampir separuh dari penyusunnya. Plasma darah merupakan cairan matriks ekstraseluler bening dengan sedikit warna kekuningan, yang tersusun atas berbagai komponen, meliputi air (92%), dan 8% sisanya terdiri atas glukosa, lemak, protein, vitamin, hormon, enzim, antibodi, karbon dioksida, dan mineral lainnya (American Society of Hematology, 2018; O'Neil, 2013). Warna kuning yang terdapat pada plasma darah merupakan pigmen warna yang diperoleh dari proses perombakan eritrosit yang sudah tua, yakni bilirubin, serta adanya pigmen karotenoid, hemoglobin, dan protein iron transferrin (Raghuwanshi & Pehlajani, 2016).

10.4 Penggolongan Darah

10.4.1 Penggolongan darah sistem ABO

Penggolongan darah sistem ABO didasarkan pada ada atau tidaknya dua antigen pada permukaan eritrosit, yaitu antigen A dan antigen B. Seperti semua antigen, antigen pada eritrosit merupakan sifat yang diturunkan dan tetap tidak berubah dari lahir sampai meninggal. Golongan darah ABO dibagi menjadi empat jenis kemungkinan, yaitu A, B, AB, dan O.

	Antigen A	Antigen B	Antigens A and B	Neither antigen A nor B
Red blood cells				
Plasma				
	Type A Red blood cells with type A surface antigens and plasma with anti-B antibodies	Type B Red blood cells with type B surface antigens and plasma with anti-A antibodies	Type AB Red blood cells with both type A and type B surface antigens, and neither anti-A nor anti-B plasma antibodies	Type O Red blood cells with neither type A nor type B surface antigens, but both anti-A and anti-B plasma antibodies

Gambar 10.5. Karakteristik Antigen dan Antibodi dalam Golongan Darah ABO (Stanley, 2009)

Karena antibodi anti-A dan anti-B menyebabkan penggumpalan eritrosit dengan antigen A dan B, masing-masing, jenis darah ABO mudah ditentukan. Hal ini dapat dilakukan dengan menempatkan sampel darah pada kaca objek. Masing-masing darah dalam slide kaca ditetesi satu tetes serum, satu sampel darah ditetesi serum yang mengandung antibodi anti-A dan serum yang mengandung antibodi anti-B ditambahkan ke yang lain. Seperti yang telah disebutkan di atas, penggolongan darah penting untuk proses transfusi. Transfusi darah dilakukan dengan golongan darah yang sama, kecuali dalam kondisi darurat. Ketika jenis darah yang berbeda harus digunakan, sangat penting bahwa antigen dari darah yang ditransfusikan bersifat kompatibel dengan antibodi darah penerima. Sebagai contoh, darah dengan antigen A atau B tidak dapat diberikan kepada pasien yang darahnya mengandung antibodi anti-A atau anti-B. Mengingat hal ini dan pola antigen dan antibodi dalam jenis darah ABO, kompatibilitas jenis darah untuk transfusi dapat ditentukan.

10.4.2 Sistem Rhesus (Rh)

Antigen A dan B bukan satu-satunya antigen penting yang ditemukan pada permukaan eritrosit. Ada atau tidak adanya faktor Rh juga merupakan komponen penting dari golongan darah. Nama Rh berasal dari nama monyet rhesus, dimana antigen Rh pertama kali ditemukan. Orang-orang yang memiliki antigen Rh pada eritrositnya mereka dianggap memiliki Rh-positif (+), dan jika tidak ada antigen Rh di eritrositnya, individu tersebut dianggap mempunyai Rh-negatif (-). Orang dengan Rh-negatif tidak akan membentuk antibodi anti-Rh kecuali ia telah terkena antigen Rh. Untuk alasan ini, individu Rh-negatif harus diberikan darah hanya dari darah Rh-negatif ketika ditransfusi. Jika diberikan darah Rh-positif, maka akan merangsang produksi antibodi anti-Rh. Reaksi transfusi tidak akan terjadi pada transfusi pertama, karena butuh waktu bagi tubuh untuk membuat antibodi anti-Rh. Namun, setelah transfusi kedua dari darah Rh-positif, antibodi dalam plasma penerima akan bereaksi dengan antigen pada eritrosit dari darah yang disumbangkan. Reaksi ini dapat menyebabkan kematian pasien.

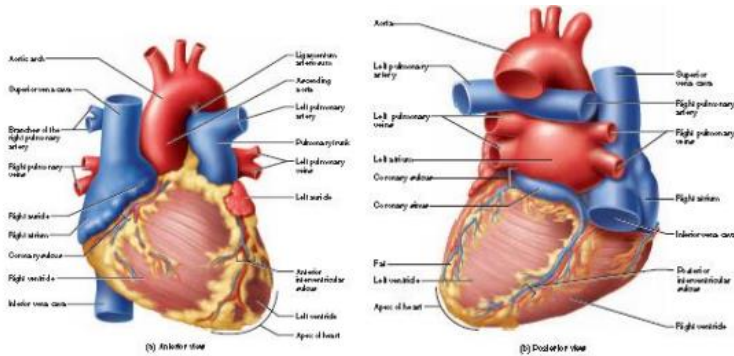
10.5 Jantung dan Pembuluh Darah

Jantung dan pembuluh darah merupakan bagian dari sistem kardiovaskular. Jantung memompa darah melalui sistem tertutup pembuluh darah. Arteri membawa darah dari jantung ke kapiler dalam jaringan tubuh. Vena membawa darah dari kapiler dalam jaringan tubuh kembali ke jantung.

10.5.1 Jantung

Jantung (bahasa Latin, *cor*) adalah organ berotot yang memompa darah lewat pembuluh darah oleh kontraksi berirama yang. Ukuran jantung bervariasi sesuai dengan ukuran tubuh. Jantung dewasa berukuran sekitar 9 cm lebarnya, n 13 cm dari dasar ke puncak, dan 6 cm dari anterior ke posterior. Beratnya sekitar 300 g (10 oz). Jantung terletak di dalam rongga dada di bagian mediastinum, di antara paru-paru di balik tulang

dada (sternum). Posisi jantung berbelok ke bawah dan sedikit ke arah kirii, jadi sekitar dua pertiga jantung terletak di sebelah kiri. Bagian atas jantung lebih luas dibandingkan dengan bagian dasar. Bagian ujung jantung rmeruncing (berbentuk kerucut), tepat di atas diafragma.



Gambar 10.6. Anatomi Permukaan Jantung (Saladin, 2009)

Jantung tertutup dalam kantung ber dinding ganda disebut pericardium. Dinding luar disebut kantung perikardial (pericardium parietal) yang tersusun oleh lapisan berserat yang merupakan jaringan ikat padat yang tidak teratur bagian dalam ditutupi oleh tipis yaitu lapisan serosa. Dinding jantung terdiri dari tiga lapisan, yaitu epikardium, miokardium, dan endocardium. Epikardium (perikardium visceral) adalah membran serosa pada permukaan jantung. Endocardium, merupakan lapisan interior ruang jantung. Miokardium terletak di antara kedua lapisan epicardium dan endokardium, tersusun oleh otot jantung. Miokardium merupakan lapisan tebal dan merupakan lapisan yang melakukan kerja jantung. Jantung memiliki empat ruang, Dua ruang di kutub superior (basis) jantung yaitu atrium kanan dan atrium kiri. Atrium ber dinding tipis, menerima darah yang kembali ke jantung dari pembuluh darah besar. Sebagian besar massa masing-masing atrium adalah di sisi posterior jantung, sehingga hanya sebagian kecil terlihat dari pandangan anterior. Dua ruang di bawah atrium adalah ventrikel kanan dan kiri. Ventrikel adalah pompa yang

mengeluarkan darah ke dalam arteri agar tetap mengalir ke seluruh tubuh. Di permukaan, batas-batas dari empat ruang ditandai oleh tiga sulci (alur), yang sebagian besar diisi oleh lemak dan pembuluh darah koroner. Seperti semua pompa, jantung mengandung katup yang memungkinkan darah mengalir hanya ke satu arah melalui jantung. Kedua jenis katup jantung adalah katup atrioventrikular (AV) dan katup semilunar.

Siklus Jantung

Siklus jantung mencakup fase kontraksi dan relaksasi. fase Kontraksi dikenal sebagai sistol dan relaksasi disebut diastole. Ventrikel mengalami relaksasi ketika atrium berkontrak, dan atrium mengalami relaksasi ketika ventrikel berkontraksi. Ketika kedua atrium dan ventrikel relaksasi di antara denyutan, darah mengalir ke atrium dari vena besar yang mengarah ke jantung dan ke dalam ventrikel. Kemudian, atrium berkontraksi (atrial systole), memaksa lebih banyak darah ke dalam ventrikel sehingga dipenuhi darah. Segera setelah itu, terjadi kontraksi ventrikel. Ketika ventrikel mengalami sistol, tiba-tiba menghasilkan tekanan darah tinggi dalam ventrikel, dan tekanan darah ini menutup kedua katup atrioventrikular dan membuka kedua katup semilunar, darah dipompa ke dalam arteri yang menuju jantung, diikuti diastol pada ventrikeli, memungkinkan katup atrioventrikel untuk membuka. Secara bersamaan, katup semilunar dekat karena tekanan darah yang lebih besar dalam arteri. Siklus jantung kemudian diulang.

10.5.2 Pembuluh Darah

Pembuluh darah merupakan bagian dari sistem sirkulasi tubuh manusia. Fungsinya adalah untuk mengalirkan darah dari jantung ke seluruh tubuh dan mengangkut darah dari seluruh tubuh menuju jantung. Jika terdapat gangguan pada pembuluh darah, sangat mungkin akan timbul masalah kesehatan.

Seluruh sel, jaringan, dan organ tubuh kita membutuhkan asupan oksigen dan nutrisi agar bisa berfungsi dengan baik. Bila tidak mendapatkan oksigen dan nutrisi yang cukup, sel-sel tubuh akan rusak dan bahkan mati. Nah, darah di dalam tubuh dibawa dan dialirkan melalui sistem pembuluh darah.

Terdapat tiga jenis pembuluh darah arteri, kapiler, dan vena. Mereka membentuk sistem tertutup berbentuk tabung yang membawa darah dari jantung ke sel-sel tubuh dan kembali ke jantung.

Arteri

Arteri membawa darah dari jantung. Arteri bercabang berulang kali menjadi lebih kecil dan arteri yang paling kecil akhirnya membentuk arteri mikroskopis yang disebut arteriol. cabang-cabang arteri (arteriol), ketebalan lapisan ototnya berkurang. Dinding arteriol terkecil hanya terdiri dari endotelium dan beberapa serat otot polos yang mengelilinginya. Arteri, terutama arteriol, memainkan peran penting dalam mengendalikan aliran darah dan tekanan darah.

Kapiler

Arteriol terhubung dengan kapiler, pembuluh darah paling banyak dan paling kecil. Diameter sebuah kapiler sangat kecil sehingga eriyrosit harus melewatinya dalam file tunggal. Dinding kapiler hanya terdiri dari endotelium, yang memungkinkan pertukaran bahan antara darah di kapiler dan sel-sel tubuh. Distribusi kapiler dalam jaringan tubuh bervariasi dengan aktivitas metabolik dari setiap jaringan. Kapiler terutama melimpah di jaringan aktif, seperti jaringan otot dan saraf, di mana hampir setiap sel dekat dengan kapiler. Kapiler kurang melimpah di jaringan ikat, dan mereka tidak hadir di beberapa jaringan, seperti tulang rawan, epidermis, dan lensa dan kornea mata.

Aliran darah dalam kapiler dikendalikan oleh otot sfingter prekapiler yang berupa serat otot polos yang melingkari dasar kapiler di persimpangan arteri-kapiler. Kontraksi sfingter prekapiler menghambat aliran darah ke jaringan kapiler

tersebut. Relaksasi sfingter memungkinkan darah mengalir ke dalam jaringan kapiler untuk menyediakan oksigen dan nutrisi untuk sel-sel jaringan. Ketika beberapa jaringan kapiler diisi dengan darah, yang lain tidak. Jaringan kapiler menerima darah sesuai dengan kebutuhan sel-sel yang mereka layani. Sebagai contoh, selama latihan fisik darah dialihkan dari jaringan kapiler dalam saluran pencernaan untuk mengisi jaringan kapiler di otot rangka. Pola distribusi darah sebagian besar terbalik setelah makan.

Vena

Setelah darah mengalir melalui kapiler, memasuki venula, vena terkecil. Beberapa kapiler bergabung membentuk venula. Venula terkecil hanya terdiri dari endotelium dan jaringan ikat, tetapi venula yang lebih besar juga mengandung jaringan otot polos. Venula bersatu untuk membentuk pembuluh darah kecil. Vena kecil bergabung membentuk vena semakin besar seperti darah dikembalikan ke jantung. Vena yang lebih besar, terutama di kaki dan tangan, mengandung katup yang mencegah aliran balik darah dan membantu kembalinya darah ke jantung. Karena hampir 60% dari volume darah berada dalam pembuluh darah, vena dapat dianggap sebagai area penyimpanan darah yang dapat dibawa ke bagian lain dari tubuh pada saat dibutuhkan. Sinusoid vena di hati dan limpa sangat penting. Jika darah hilang oleh perdarahan, baik volume darah maupun tekanan darah mengalami penurunan. Sebagai tanggapan hal tersebut, sistem saraf simpatik mengirimkan impuls untuk mengerut dinding otot pembuluh darah, yang mengurangi volume vena dan mengkompensasi kehilangan darah. Sebuah respon yang sama terjadi selama aktivitas otot berat untuk meningkatkan aliran darah ke otot rangka.

Sistem pembuluh darah tubuh adalah sistem pipa yang membawa darah dari jantung ke organ-organ dalam tubuh untuk metabolisme. Semua sel dalam tubuh membutuhkan oksigen dan nutrisi penting yang terdapat dalam darah. Tanpa oksigen dan nutrisi ini, semua sel akan mati. Berkat kontraksi

jantung, oksigen dan nutrisi dapat mencapai jaringan dan organ tubuh melalui sistem vaskular untuk membantu mempertahankan aktivitas sehari-hari.

Tidak hanya membawa oksigen dan nutrisi ke jaringan organ, pembuluh darah juga mengangkut karbon dioksida (CO₂) dan produk limbah keluar dari jaringan. CO₂ akan dikeluarkan dari tubuh melalui paru-paru dan sebagian besar produk yang berlebih akan dibuang melalui ginjal. Pembuluh darah juga berperan penting dalam mengatur tekanan darah tubuh.

Berikut adalah proses aliran darah dalam tubuh:

- Vena membawa darah yang miskin oksigen ke sisi kanan jantung.
- Kemudian arteri pulmonalis membawa darah tersebut ke paru-paru, di mana mereka akan menerima oksigen.
- Lalu, darah yang sudah kaya oksigen akan dipindahkan melalui vena pulmonalis ke sisi kiri jantung.
- Aorta (arteri utama dalam tubuh) membawa darah dari sisi kiri jantung ke seluruh tubuh melalui banyak cabang arteri.
- Kapiler dengan dinding tipisnya memungkinkan oksigen, nutrisi, karbon dioksida, dan produk limbah melewati, menuju dan keluar dari sel-sel jaringan.
- Vena kemudian membawa darah kembali ke jantung dan kembali lagi ke proses yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Hematology. (2018). Blood Basics. Retrieved October 15, 2018, from <http://www.hematology.org/Patients/Basics/>
- Carter, L. (2018). What are the Components of Blood and Their Functions? Retrieved October 15, 2018, from <https://www.phlebotomyexaminer.com/components-blood-functions/>
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2006). Textbook of Medical Physiology. (W. Schmitt & R. Gruliow, Eds.) (11th ed.). Philadelphia: Elsevier Saunders.
- Hoffman, M. (2014). Human Anatomy: Blood - Cells, Plasma, Circulation, and More. Retrieved October 15, 2018, from <https://www.webmd.com/heart/anatomy-picture-of-blood#1>
- Mader, S.S. and Windelspecth, M. (211). Human Biology. Twelept Edition. New York: The McGrawHill Company.
- Martini, F.H. Nath, J.L. Bartholomew, E.F. (2012) Fundamental Anatomy Physiology. Ninth Edition. Boston: Benjamin Cumings.
- O'Neil, D. (2013). Human Blood: Blood Components. Retrieved October 15, 2018, from https://www2.palomar.edu/anthro/blood/blood_components.htm
- Raghuwanshi, B., & Pehlajani, N. (2016). Green Colour Donor Plasma. Indian Journal of Anaesthesia, 60(74), 86–87. <https://doi.org/10.4103/0019-5049.191703>
- Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Waaserman, S. A., Minorsky, P. V., & Jackson, R. B. (2011). Campbell: Biology (10th ed.). United States of America: Pearson Education, Inc.
- Rice University. (2018). 4.3 Connective Tissue Supports and Protects – Anatomy and Physiology. Retrieved October 17, 2018, from: <https://opentextbc.ca/anatomyandphysiology/chapter/4-3-connective-tissue-supports-and-protects/>

- Rodak, B. F., Keohane, E. M., Walenga, J. M., & Smith, L. J. (2016). Rodak's Hematology: Clinical principles and applications (Fifth Edition.). St. Louis, Missouri: Elsevier Saunders.
- Rogers, K. (Ed.). (2008). Blood: Physiology and Circulation. Animal Genetics. New York: Britannica Educational Publishing.
- Saladin, K. (2009). Anatomy and Physiology: The Unity of Form, and Function 5th Edition. New York: McGraw Hill Company.
- Stanley, E. G. (2009). Anatomy & Physiology with Integrated Guide. Boston: McGraw Hill Education.
- Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2010). Introduction to the Human Body: The Essentials of Anatomy and Physiology (8th ed.). New York: John Wiley & Sons Inc.
- Whittemore, S. (2009). The Circulatory System. Child psychiatry. New York: Chelsea House Publishers.
<https://doi.org/10.1037/13306-027>

BAB 11

PEMBENTUKAN SISTEM PENCERNAAN DAN SISTEM PERNAPASAN

Oleh Deswidya S Hutaaruk

11.1 Pendahuluan

Sistem pencernaan dan sistem pernapasan merupakan sistem yang berperan penting dalam mendukung proses metabolisme tubuh makhluk hidup. Pertumbuhan dan perkembangan seluruh sistem yang terdapat dalam tubuh makhluk hidup tidak lepas dari tahapan pertumbuhan dan perkembangan pada masa embriogenesis.

Pencernaan diartikan sebagai perubahan fisik dan kimia bahan makanan menjadi butiran atau partikel kecil oleh organ-organ pencernaan (Partama, 2019). Sistem pencernaan disebut juga dengan sistem digestoria. Sistem pencernaan berperan dalam mencerna makanan yang masuk ke dalam tubuh sehingga menghasilkan energi yang dibutuhkan oleh tubuh untuk tumbuh dan berkembang. Namun sistem pencernaan ini tidak dapat berdiri sendiri.

Sistem pencernaan memiliki keterkaitan dengan sistem lainnya di dalam tubuh. Salah satunya adalah sistem pernapasan. Sistem pernapasan disebut juga dengan sistem respirasi. Sistem pernapasan berperan penting dalam proses penyaluran oksigen di dalam tubuh sehingga makhluk tersebut dapat melakukan aktivitasnya setiap hari. Dalam bab ini akan dibahas mengenai pembentukan sistem pencernaan dan sistem pernapasan pada hewan.

11.2 Pembentukan Sistem Pencernaan

Sistem pencernaan berperan dalam mencerna makanan yang masuk kedalam tubuh. Selain peran penting dalam mencerna makanan, gerakan yang ditimbulkan oleh saluran pencernaan berperan dalam sistem reproduksi wanita yaitu membantu pemancaran ovum pada saat keluar dari tubuh dan dibantu dengan timbulnya kontraksi oleh dinding uterus (Dr.Irdalisa, 2021). Perkembangan sistem pencernaan pada makhluk hidup sejalan dengan awal mula pertumbuhan dan perkembangan embrio dan akan bersifat spesifik pada setiap spesies (Nikhilani and Sukarti, 2016).

Proses pembentukan sistem pencernaan pada embrio dimulai dari usia 4 minggu. **Esofagus** pada embrio dimulai dari terpisahnya divertikulum dari bagian dorsal usus depan sehingga usus depan terbagi menjadi 2 bagian yaitu trakea di daerah ventral dan esophagus di daerah dorsal dan akhirnya membentuk trakeo-esofagus. Dari kapisan endoderm ini akan terbentuk epitel skuamosa berlapis, kelenjar mukosa dan submukosa esofagus defenitif. **Lambung** terbentuk sebagai pelebaran usus depan dimana lambung ini akan berputar mengelilingi sumbu panjang dan anteroposterior. Perputaran ini akan membentuk kurvatura major dan minor, bagian pylorus bergerak ke kanan dan ke atas dan sumbu panjangnya berjalan dari kiri atas ke kanan bawah. **Duodenum** dibentuk dari bagian akhir usus depan dan sefalik usus tengah. Pada saat ambung berputar maka duodenum membentuk lengkung (seperti huruf C) ke arah depan dan hal ini terjadi bersamaan dengan pertumbuhan kaput pankreas. Mesoduodenum dorsal akan menghilang kecuali di daerah pylorus lambung dan sebagian kecil duodenum tetap intraperitoneal. Pada bulan kedua lumen duodenum akan tersumbat akibat proliferasi sel di dindingnya namun selanjutnya akan rekanalisasi kembali. **Jaringan hati** pada embrio tampak pada pertumbuhan minggu ke 3 diawali dengan pertumbuhan epitel endoderm di ujung distal depan.

Organ ini terbentuk dari sel yang berploriferasi dan menembus septum transversum yaitu lempeng mesoderm. Lapisan germinativum endoderm usus depan memiliki potensi mengekspresikan gen spesifik hati dan selanjutnya akan berdiferensiasi menjadi jaringan hati. Keberadaan hepatocyte nuclear transcription factor (HNF3 dan 4) menjadi faktor yang mendorong sel-sel di area medan hati berdiferensiasi untuk membentuk hepatosit dan turunan sel empedu. **Pankreas** di bentuk dari 2 tunas lapisan endodermduodenum yaitu tunas pankreas dorsal dan tunas pankreas ventral. (Dr. Ahmad Husairi *et al.*, 2020)

Terdapat beberapa spesifikasi pembentukan sistem pencernaan pada beberapa hewan, seperti:

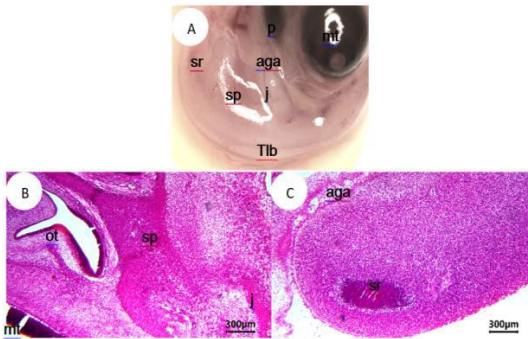
a. Pada invertebrata

Proses pembentukan organ-organ tubuh janin berasal dari lapisan-lapisan dinding tubuh embrio. Salah satu lapisan terdalam pada dinding embrio adalah lapisan endoderm. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa lapisan endoderm pada embrio akan menumbuhkan sel-sel epitelium yang selanjutnya akan berdiferensiasi menjadi beberapa organ tubuh seperti organ dan kelenjar pencernaan serta pulmo (alat pernapasan). Seperti pada larva rajungan (*Portunus pelagicus*) (Dr.Irdalisa, 2021)

b. Pada Aves

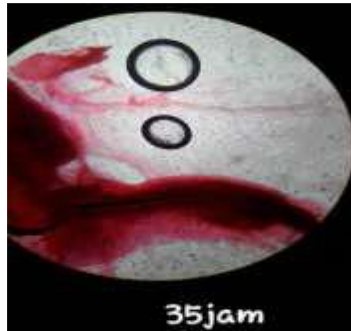
Pembentukan sistem pencernaan pada ayam dapat diketahui dengan melihat perkembangan embrio secara histologi. Menurut Drake (2006) dalam (Fitriani *et al.*, 2021) dinyatakan bahwa perkembangan embrio ayam dan perkembangan embrio manusia memiliki pola perkembangan dan fungsi yang identik. Penelitian yang dilakukan (Fitriani *et al.*, 2021) menunjukkan bahwa perkembangan embrio ayam terjadi secara bertahap dari hari ke-1 hingga hari ke-7. Masa inkubasi hari ke-1 dan ke -2 terlihat perkembangan histologis jaringan embrio ayam

seperti stria primitif dan jaringan primitif dari blastoderm. Organ-organ dalam tubuh mulai terbentuk pada inkubasi hari ke-3 seperti pembuluh darah, jaringan otak, jantung, mata, alat gerak atas, alat gerak bawah, pencernaan dan reproduksi. Namun pada hari ke-4 organ pencernaan ini tidak begitu jelas terlihat. Pada umur inkubasi hari ke 5 perkembangan organ pencernaan mulai terlihat kembali. Pembentukan organ pencernaan secara lengkap terjadi pada masa inkubasi hari ke-7, hal ini terlihat dari terbentuknya jaringan mesenkim.



Gambar 11.1. Perkembangan sistem pencernaan ayam pada hari ke- 7 (simbol SP)
(Sumber: (Fitriani *et al.*, 2021))

Pada jenis ayam kampung (*Gallus-gallus domesticus*), dinding saluran sistem pencernaan terbentuk dari lipatan ekor embrio yang berbentuk kantung sub kaudal dan terletak di daerah posterior embrio (Zulfa *et al.*, 2021)



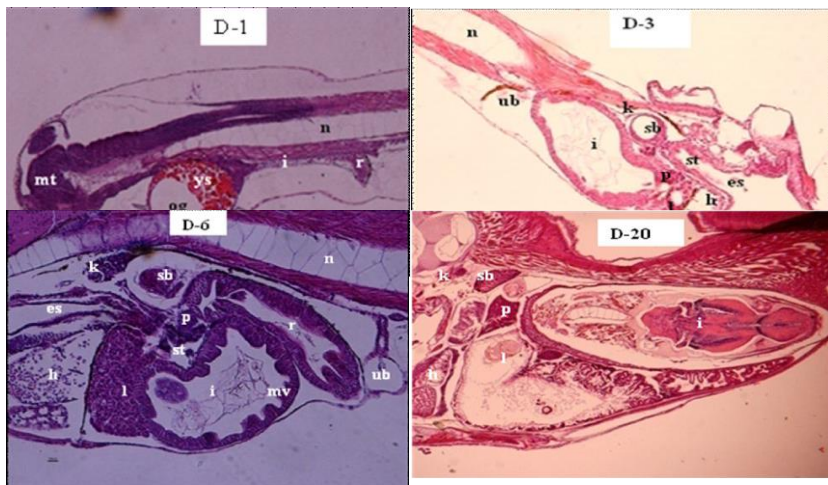
Gambar 11.2. Perkembangan derivate endometrium menjadi usus besar pada *Gallus-gallus domesticus*
(Sumber: (Zulfa *et al.*, 2021))

c. Pada Pisces

Dari pengamatan histologis larva ikan kerapu macan (*Epinephelus fuscogutattus Forsskal*), saluran pencernaanya masih berupa tabung lurus dibagian atas dan membengkok dibagian bawah. Saluran pencernaan larva ikan yang berusia 3 hari akan lebih besar dan telah berkembang menjadi usus dan rektum sedangkan pankreas mulai terdeteksi. Pankreas berperan pada satdium awal sebelum lambung terbentuk. Larva yang telah berusia 11 hari, usus dan rektumnya akan semakin tinggi sehingga kapasitas proses pencernaan juga semakin meningkat. Perkembangan sistem pencernaan lara yang lebih komplek akan terlihat pada usia 20 hari. Ditahap ini larva telah mampu lebih banyak pakan sebanding dengan sekresi enzim pencernaan sehingga lebih banyak pakan yang dapat dicerna (Melianawati and Pratiwi, 2011).

Menurut Kato et al. (2014) dalam (Gunawan *et al.*, 2019) perubahan perkembangan sistem pencernaan berhubungan dengan pengetahuan tentang asimilasi makanan selama dalam fase larva. Dari hasil penelitian yang dilakukan (Gunawan *et al.*, 2019) diketahui bahwa perkembangan sistem pencernaan larva ikan ikan tuna sirip kuning (*Thunnus albacares*) pada hari ke -1 sudah mulai terbentuk dalam bentuk tabung lurus namun mata

dan mulutnya belum terbuka serta lubang anus belum terbentuk. Hal ini juga terjadi pada jenis larva ikan lain seperti ikan kerapu macan, kerapu bebek, kakap putih dan kakap merah. Sistem pencernaan pada larva ikan ini akan bertahan hingga yolk sac terserap sepenuhnya. Pada hari ke-3 organ pencernaan larva sudah berfungsi mulai dari mulut, esofagus, lambung, pankreas, usus, rektum dan anus sehingga asimilasi pakan ditelan dan diserap sampai habis. Penyempurnaan saluran dan sistem pencernaan larva ikan tuna sirip kuning ini terjadi pada hari ke-6, dimana bentuk usus sudah melingkar dan terdiri dari 2 bagian yaitu midgut (usus yang dekat dengan lambung) dan hindgut (usus yang terletak dibagian belakang dan berhubungan dengan rektum), selanjutnya mikro phili pada usus juga sudah terbentuk dan berfungsi mengabsorbsi nutrisi yang masuk. Saluran dan sistem pencernaan larva ikan tuna sirip kuning ini bermetamorphosa menjadi juvenil (menyerupai ikan dewasa) pada hari ke-20.



Gambar 11.3. Perkembangan saluran dan sistem pencernaan ikan tuna sirip kuning (*Thunnus albacares*)
(Sumber: (Gunawan *et al.*, 2019))

11.3 Pembentukan Sistem pernapasan

Bernafas dapat diartikan dengan proses memasukkan oksigen kedalam tubuh dan mengeluarkan karbondioksida dari dalam tubuh. Bernafas secara normal dapat dilakukan apabila alat-alat pernapasan berfungsi secara optimal. Sistem pernapasan disebut juga dengan sistem respiratori. Sama halnya dengan sistem pencernaan, sistem pernapasan pada awalnya berasal dari lapisan terdalam dinding embrio yaitu lapisan endoderm. Saluran pencernaan, saluran respiratori dan beberapa kelenjar endokrin adalah organ hasil turunan dari lapisan endoderm embrio (Dr.Irdalisa, 2021). Sistem respirasi memiliki fungsi utama yaitu melakukan metabolisme aerobik dengan mengonsumsi oksigen sehingga akan menghasilkan energi (Delfita, 2014).

Perkembangan organ pernapasan pada hewan uniseluler dan multiseluler sejalan dengan proses evolusi hewan tersebut. Seperti pada hewan uniseluler, permukaan tubuh yang belum termodifikasi sempurna mengharuskan hewan tersebut bernapas melalui permukaan tubuhnya, sedangkan pada hewan multiseluler permukaan tubuhnya sudah termodifikasi sempurna sehingga pernapasan melalui permukaan tubuhnya tidak efektif (Delfita, 2014).

11.3.1 Pembentukan insang

Insang merupakan alat pernapasan yang dimiliki oleh ikan. Terbentuknya insang pada ikan terjadi pada perkembangan awal (organogenesis) ikan tersebut. Lapisan somatic dan splanchnic mesoderm akan menumbuhkan kantung insang yang berpasangan di daerah pharynx foregut sedangkan lapisan bumbung endoderm (metenteron) akan menumbuhkan lapisan epitel insang (Dr.Irdalisa, 2021).

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh (Sulistiyowati and Arfah, 2005) pada ikan *Corydoras panda* sebagai salah satu ikan hias yang berasal dari perairan Amazon, tutup insang sudah terlihat jelas dan sudah bergerak menunjukkan fungsinya di usia larva hari ke-2. Pada hewan *Arenicola* ditemukan insang ekstrenal yang membentuk parapodia sehingga air akan masuk melalui insang disertai pergerakan tubuh (Delfita, 2014). Selanjutnya juga dikatakan bahwa insang terdiri dari lengkung-lengkung insang yang berasal dari pelebaran dua filamen insang sehingga pertukaran gas bisa terjadi.

11.3.2 Pembentukan trakhea

Trakea memiliki bentuk seperti pipa yang terdiri dari tulang rawan dan otot. Otot yang menyusunnya adalah sternohyoideus (Heryani, 2017). Pada masa embrio di usia 3,5 minggu terbentuk laringotrakeal (Sofyan, 2014). Epitel akan berkembang dari lapisan endoderm tabung laringotrakea tersebut. Salah satu organ yang berasal dari pertumbuhan derivat sistem pencernaan bagian medioventral usus depan adalah laringotrakea yang kemudian akan tumbuh ventroposteriad dan mengalami bifurkasi dan akhirnya akan menjadi bronkus ontrapulmonalis, bronkiolus hingga mencapai ke akhir percabangan alveolus (Dr.Irdalisa, 2021). Pada tahap pertumbuhan embrional Pemisahan divertikulum laringotrachea akan terjadi. Pada lipatan longitudinal akan terbentuk septum tracheoesophageal. Septum tracheoesophageal ini akan mengalami pemisahan menjadi trachea dan kuncup paru di daerah ventral dan akan menjadi esofagus di daerah dorsal.

11.3.3 Pembentukan Paru-Paru

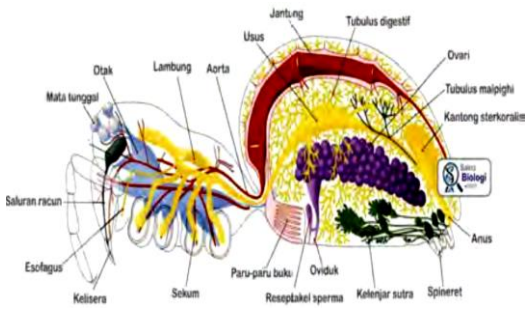
Stadium perkembangan paru-paru dimulai dari periode embrionik pada umur pascakonsepsi 3-7 minggu. Pada periode ini organogenesis dimulai, tunas paru akan muncul serat segmen rudiemna bronchopulmonary mulai terbentuk. Masuk ke

periode fetus pada stadium pseudoglandular dengan umur embrio 5-16 minggu, terjadi pembagian saluran udara conducting, ujung bronchioles terbentuk secara lengkap, sel aliran mulai berdiferensiasi serta munculnya tulang rawan dan otot polos. Pada stadium canalicular dengan umur embrio 16-27 minggu telah terbentuk percabangan pohon respirasi terbentuknya asinar, terbentuknya sel clara, sel alveolar tipe I dan II serta badan lamellar. Pada stadium Saccular di usia embrio 24-36 minggu terjadi penipisan sel petile pernapasan yaitu pada sel tipe I dan II, terbentuknya terminal saccular dan surfactant. Yang terakhir di periode Postnatal pada stadium alveolar dengan usia embrio >36 minggu telah terbentuk alveoli sempurna dan alveolar septa (ITB, 2014)

Dalam (Heryani, 2017) dikatakan bahwa paru-paru berasal dari foregut yang terbentuk pada minggu ke -4 pascakonsepsi dan akan diteruskan hingga embrio lahir. Paru-paru ini merupakan tunas tunggal dan akan berkembang menjadi paru-paru kanan dan paru-paru kiri. Lapisan endoderm akan membentuk sel epitel respirasi. Interaksi antara sel epitel dengan mesenkim akan berakibat pada morfogenesis. Hal ini berlaku sama pada hewan anjing, paru-paru muncul dari dua tunas paru-paru terpisah di dinding lateral usus depan, yang kemudian berkembang menjadi paru-paru kanan dan kiri. Percabangan intrapulmonalis akan diselubungi oleh lapisan mesoderm dan akan membentuk 3 lobus paru-paru disebelah kanan dan 2 lobus paru-paru disebelah kiri (Dr.Irdalisa, 2021)

Terdapat sedikit perbedaan pada sistem pernapasan kalajengking dan laba-laba yang melakukan pernapasan dengan menggunakan paru-paru buku. Pada paru-paru buku terdapat gulungan yang berasal dari invaginasi perut. Paru-paru buku memiliki lamela tipis yang tersusun berjajar dan spirakel sebagai tempat masuknya oksigen. Namun secara umum paru-

paru buku ini memiliki fungsi yang sama dengan fungsi paru-paru secara umum (Risa purnamasari, 2017).



Gambar 11.4. Paru-paru buku pada Laba-laba (Sumber: (Risa purnamasari, 2017))

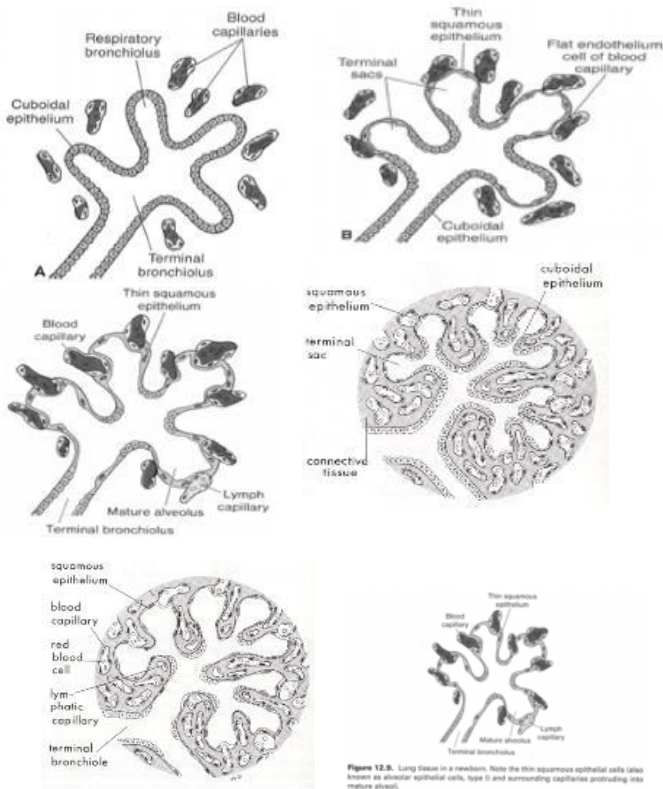


Figure 12.8. Lung tissue in a newborn. Note the thin squamous epithelial cells (also known as alveolar epithelial cells, type I) and surrounding capillaries protruding into mature alveoli.

Gambar 11.5. Tahapan perkembangan Paru-paru (Sumber: (ITB, 2014))

11.3.4 Pembentukan sistem pernapasan difusi permukaan tubuh

Perkembangan organ pernapasan sejalan dengan evolusi yang terjadi. Sistem pernapasan vertebrata dan hewan invertebrata berbeda. Pada umumnya hewan invertebrata melakukan pernapasan secara difusi. Hal ini disebabkan sistem pernapasan yang dimiliki lebih sederhana sehingga organogenesis pada hewan invertebrata tidak selengkap vertebrata. Hewan uniseluler melakukan pernapasan melalui permukaan tubuh karena permukaan tubuhnya belum termodifikasi. Syarat utama dalam proses pernapasan secara difusi adalah sel-sel hewan tersebut harus berukuran 1 mm atau diliputi media air minimal setebal 1 mm (Delfita, 2014). Pernapasan secara difusi terjadi akibat terjadinya pertukaran oksigen dan karbondioksida dari kandungan tinggi ketempat yang kandungan oksigen dan karbondioksidanya lebih rendah. (Putra, 2016) menyatakan bahwa pernapasan secara difusi merupakan pernapasan dengan gerakan pasif sehingga tidak memerlukan energi ekstra dan hal ini sangat mendukung pernapasan pada invertebrata.

Secara fisiologi pernapasan secara difusi dapat terjadi melalui kulit ataupun dari alveoli ke kapiler darah di paru-paru. Pernapasan dengan difusi tidak akan cukup untuk memenuhi kebutuhan oksigen dan netralisasi karbondioksida dari dalam tubuh pada hewan yang memiliki laju metabolisme yang tinggi seperti hewan vertebrata. Sedangkan pada hewan invertebrata pernapasan ini cukup memenuhi mengingat konsumsi oksigen yang lebih sedikit dibandingkan hewan invertebrata. Griffin and Novick dalam (Delfita, 2014) ditemukan perbandingan jumlah konsumsi oksigen beberapa spesies hewan vertebrata maupun invertebrata seperti coelenterata hanya 0,0034 mm O₂/gram bb/jam, molusca 0,09 mm O₂/gram bb/jam, crustacea 0,05 mm O₂/gram bb/jam, echinodermata 0,03 mm O₂/gram bb/jam sedangkan kebutuhan oksigen insekta 1,70 mm O₂/gram

bb/jam, tikus 0,95 mm O₂/gram bb/jam, dan kucing 0,44 mm O₂/gram bb/jam sehingga dari sini terlihat jelas kemampuan sistem pernapasan secara difusi yang dilakukan oleh hewan-hewan tersebut.

Pada hewan porifera, kebutuhan akan udara dalam sistem pernapasan secara difusi dipertukarkan secara langsung oleh sel-sel permukaan tubuh atau sel-sel leher yang bersentuhan langsung dengan air (Risa purnamasari, 2017). Beberapa contoh hewan lain yang melakukan sistem pernapasan secara difusi permukaan tubuh adalah filum coelenterata (*Aurelia aurita*, *Hydra sp.*, *Mentrium sp.*). Pada hewan cacing pernapasan secara difusi ini berlangsung dengan syarat permukaan kulitnya yang harus selalu basah oleh cairan mukus.

DAFTAR PUSTAKA

- Delfita, R. (2014) 'Fisiologi Hewan Jilid 1', *STAIN Batu Sanggar Press*, 4(1), p. 180.
- Dr. Ahmad Husairi, M. A. M. I. *et al.* (2020) *Sistem Pencernaan - Tinjauan Anatomi, Histologi, Biologi, Fisiologi Dan Biokimia*. Available at: www.irdhcenter.com.
- Dr.Irdalisa (2021) 'Perkembangan Hewan', in *Intimedia*, p. 311.
- Fitriani, F. *et al.* (2021) 'Histologis Perkembangan Embrio Ayam pada Masa Inkubasi Satu sampai Tujuh Hari', *Jurnal Agripet*, 21(1), pp. 65-70. doi: 10.17969/agripet.v21i1.18449.
- Gunawan, G. *et al.* (2019) 'PERKEMBANGAN SALURAN DAN SISTEM PENCERNAAN PADA LARVA IKAN TUNA SIRIP KUNING, *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788)', *Jurnal Riset Akuakultur*, 13(4), p. 309. doi: 10.15578/jra.13.4.2018.309-316.
- Heryani, L. G. S. S. (2017) 'Sistem respirasi hewan', *Universitas Udayana*, 1, pp. 1-26.
- ITB (2014) 'Organogenesis : Turunan Endoderm', pp. 1-18.
- Melianawati, R. and Pratiwi, R. (2011) 'POLA AKTIVITAS ENZIM PENCERNAAN LARVA IKAN KERAPU MACAN (*Epinephelus fuscogutatus* Forsskal, 1775)', *Jurnal Riset Akuakultur*, 6(1), p. 51. doi: 10.15578/jra.6.1.2011.51-61.
- Nikhlani, A. and Sukarti, K. (2016) 'Morfologi Organ Dan Aktifitas Enzim Pencernaan Larva Rajungan', 12(1), pp. 71-84.
- Partama, I. bagus G. (2019) *Nutrisi dan Pakan Ternak Ruminisia, Hilos Tensados*.
- Putra, K. A. H. & A. M. (2016) 'Fisiologi Ventilasi Dan Pertukaran Gas', *Journal Respiratory*, (http://simdos.unud.ac.id/uploads/file_penelitian_1_dis), p. 30.
- Risa purnamasari, dwi rukma santi (2017) *Fisiologi Hewan, Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*. doi:

10.1088/1751-8113/44/8/085201.

Sofyan, F. (2014) 'Embriologi, Anatomi Dan Fisiologi Laring', *SINTA - Science and Technology Index*, pp. 2011–2014. Available at:

<http://repository.usu.ac.id/handle/123456789/28894>.

Sulistyowati, D. T. and Arfah, S. H. (2005) '67 ORGANOGENESIS DAN PERKEMBANGAN AWAL IKAN *Corydoras panda* Organogenesis and Development of *Corydoras panda* in Early Stage D. Tri Sulistyowati, Sarah dan H. Arfah', 4(2), pp. 67–74.

Zulfa, S. *et al.* (2021) 'The Effect of Different Incubation Periods on Embryo Development of *Gallus gallus domesticus* Pengaruh Perbedaan Masa Inkubasi terhadap Perkembangan Embrio *Gallus gallus domesticus*', *Prosiding SEMNAS BIO 2021 Universitas Negeri Padang*, 1, pp. 567–573.

BAB 12

METAMORFOSIS

12.1 Pengertian

Hewan yang ada planet bumi ini sangat banyak atau bahkan bisa mencapai ratusan, mulai dari hewan yang berukuran kecil hingga hewan yang berukuran besar. Banyaknya hewan yang ada di dunia ini disebut dengan keanekaragaman hayati. Setiap hewan yang ada di dunia ini pasti akan berkembang biak, sehingga perkembangan hewan akan terus terjadi. Perkembangbiakan pada setiap hewan sangat memengaruhi keberlangsungan hidup hewan tersebut. Perkembangbiakan hidup setiap hewan, dimulai dari embrio, proses kelahiran, proses menuju dewasa, berkembang biak, dan mengalami kematian.

Perkembangbiakan pada hewan terjadi karena adanya proses seksual antara hewan jantan dan hewan betina. Pada proses ini akan terjadi yang namanya proses fertilisasi. Fertilisasi adalah peleburan inti sel sperma dan inti sel telur. Fertilisasi pada hewan dapat melalui dua cara, yaitu fertilisasi internal dan eksternal. Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) metamorfosis adalah perubahan bentuk atau susunan yang mengalami perubahan bentuk (misalnya dari ulat menjadi kupu-kupu).

Sementara itu, menurut bahasa, metamorfosis berasal dari bahasa Yunani yakni *Greek*. Sedangkan berdasarkan kata, metamorfosis dibagi menjadi tiga bagian yaitu pertama, “meta” yang berarti “di antara, setelah, dan sekitar”. Kemudian kedua, “morphe” yang berarti “bentuk” dan ketiga, kata “osis” yang berarti “bagian dari”. Singkatnya metamorfosis adalah

perubahan bentuk yang terjadi pada hewan selama perkembangan postembrionik berlangsung. Ketika hewan sedang mengalami metamorfosis, beberapa hewan mengalami perubahan bentuk tubuh yang hampir sama. Akan tetapi, ada beberapa hewan yang mengalami perubahan bentuk tubuh yang sangat berbeda. Hewan yang mengalami perubahan bentuk yang hampir sama, seperti kecoa, kucing, kambing, dan sejenisnya. Sedangkan hewan yang mengalami perubahan bentuk tubuh yang tidak sama dapat dilihat pada hewan kupu-kupu, nyamuk, katak, dan sejenisnya.

12.2 Jenis-Jenis Metamorfosis

Setelah membahas pengertian metamorfosis, kini saatnya membahas jenis-jenis metamorfosis yang terjadi pada hewan. Metamorfosis terbagi menjadi dua jenis, pertama metamorfosis sempurna dan kedua, metamorfosis tidak sempurna.

12.2.1 Metamorfosis Sempurna (Holometabola)

Metamorfosis sempurna adalah metamorfosis yang dalam perkembangannya menuju dewasa mengalami perubahan bentuk tubuh, penampilan dan perilaku yang berbeda. Perubahan bentuk yang berbeda ini dimulai dari fase telur. Setelah fase telur sudah dilewati, maka fase selanjutnya yakni fase larva. Setelah fase larva akan menghasilkan fase pupa. Fase terakhir dari metamorfosis sempurna adalah fase imago atau dewasa.

I. Tahapan Metamorfosis Sempurna

Di bawah ini akan dijelaskan tahapan-tahapan yang terjadi pada metamorfosis sempurna:

a. Fase telur

Fase telur menjadi fase pertama dari hasil perkembangbiakan pada hewan. Pada fase ini telur-telur-telur yang dihasilkan oleh betina berasal dari hasil

fertilisasi yang terjadi pada hewan berkelamin jantan. Sel telur yang bertemu dengan sel sperma akan mengakibatkan terjadinya pembelahan. Pada proses pembelahan ini waktu yang dibutuhkan bervariasi tergantung dari jenis hewannya. Dari hasil pembelahan ini akan menghasilkan telur-telur yang cukup banyak. Telur-telur itu kemudian diletakkan oleh betina pada tempat habitatnya. Misalnya kupu-kupu, hewan ini akan meletakkan telur-telurnya di permukaan daun. Sedangkan nyamuk akan meletakkan telur-telurnya di permukaan air yang tenang. Induk-induk hewan meletakkan telur-telurnya sesuai dengan habitatnya karena setelah mengalami perubahan wujud langsung bisa mencari makan. Hewan muda yang mudah mencari makan mengalami pertumbuhan yang sangat cepat.

b. Fase larva

Setelah melewati fase telur, tahapan selanjutnya yang terjadi di metamorfosis sempurna adalah fase larva. Fase larva ini merupakan fase yang di mana hewan muda sudah mulai aktif untuk mencari makan. Makanan yang didapatkan sangat mudah karena sang induk sudah mempersiapkan jika anaknya berkembang tidak perlu repot-repot untuk mencari makanan. Dengan kata lain, induk dari setiap hewan sangat baik karena tidak ingin anaknya kesulitan mencari makanan. Pada fase larva ini, beberapa hewan mempunyai rangka luar (eksoskeleton). Rangka luar pada hewan dapat diartikan sebagai serangga atau hewan lainnya yang mengalami perubahan kulit atau ecdisis.

Perubahan kulit yang terjadi pada larva akan mengakibatkan larva mengalami perubahan wujud menjadi lebih besar. Perubahan kulit ini bisa terjadi selama beberapa kali tergantung dari jenis hewan. Selain itu, perubahan kulit ini akan berhenti ketika larva sudah mulai berhenti untuk makan dan mempersiapkan diri untuk menuju ke fase berikutnya.

c. Fase pupa

Fase pupa bisa dikatakan sebagai fase transisi karena terjadinya perubahan wujud dari larva menjadi wujud hewan yang lebih besar. Perubahan wujud yang lebih besar membuat hewan memiliki suatu rangka luar yang bisa melindungi tubuh dan rangka luar itu dinamakan kokon. Meskipun sudah terlindungi oleh kokon, tubuh pupa akan tetap melakukan pembentukan metabolisme dan melakukan pembentukan hewan menuju hewan yang dewasa.

Awal mula menjadi wujud pupa, hewan sudah menyimpan cadangan makanan pada saat menjadi larva. Meskipun pada fase larva sudah tersimpan cadangan makanan, tetapi untuk bertahan hidup pupa membutuhkan asupan makanan. Oleh sebab itu, pada fase pupa, hampir setiap hewan yang bermetamorfosis sempurna akan mulai aktif kembali untuk mencari makan. Pada fase pupa, waktu yang dibutuhkan sangat beragam tergantung dari jenis hewan dan lamanya waktu pada proses ini. Pada proses pupa, hewan akan mempersiapkan dirinya untuk menuju ke fase dewasa atau fase imago.

d. Fase imago

Pada waktu yang sudah ditentukan, maka pupa akan keluar dari cangkangnya. Pupa yang keluar dari cangkangnya akan memiliki wujud hewan yang baru dan menandakan bahwa hewan yang mengalami metamorfosis sempurna sudah tumbuh menjadi dewasa. Pada fase ini, hewan sudah harus membiasakan dirinya menghadapi predator-predator lainnya.

Pada fase imago, hewan sudah mempunyai bentuk yang sempurna, sehingga ketika mencari makan dan mencari habitat tidak sama lagi dengan fase larva. Selain itu, pada fase ini, hewan akan melakukan fase reproduksi atau melakukan perkawinan antara hewan jantan dan hewan betina. Dengan demikian, fase imago bisa dikatakan sebagai fase hewan yang menjadi dewasa dan

perlu melakukan perkawinan supaya anakan akan terus ada atau siklus metamorfosis sempurna akan terulang.

II. Contoh Hewan dengan Metamorfosis Sempurna

Metamorfosis sempurna adalah pertumbuhan hewan yang melewati tahap telur, larva, pupa, dan dewasa. Secara umum (kecuali pada katak), tahapan dari daur hidup hewan yang mengalami metamorfosis sempurna adalah telur, larva, pupa, dan imago. Tahapan metamorfosis sempurna dijelaskan sebagai berikut:

1. Telur, yaitu bagian awal kehidupan dan akan terus tumbuh melalui suatu proses tertentu yang mengubahnya menjadi makhluk hidup.
2. Larva adalah Hewan muda yang bentuk dan sifatnya berbeda dengan dewasa.
3. Pupa adalah kepompong dimana pada saat itu serangga tidak melakukan kegiatan. Pada fase pupa terjadi penyempurnaan dan pembentukan organ.
4. Imago adalah fase dewasa atau fase berkembangbiakan.

Telur menetas menjadi larva. Pada bentuk larva, hewan tidak memiliki sayap dan tanda-tanda sayap belum tampak. Ketika berupa larva, serangga sangat aktif makan. Larva kemudian mengalami perubahan menjadi pupa. Larva biasanya langsung menjadi pupa, tetapi ada beberapa hewan yang lebih dulu membuat perlindungan dari daun yang dilipat, tanah atau pasir yang halus, sayatan kayu, dan bahan lainnya. Tempat pelindung pupa dinamakan kepompong. Pada tahap pupa, hewan tidak aktif makan meski proses metabolisme tetap berlangsung. Setelah melewati tahap pupa, hewan akan menjadi dewasa atau imago.

Contoh serangga yang memiliki daur hidup dengan cara metamorfosis sempurna adalah nyamuk dan kupu-kupu. Contoh amfibi yang mengalami metamorfosis sempurna adalah katak, salamander, dan sesilia yang merupakan hewan dari kelompok amfibi. Sedangkan metamorfosis sempurna dari kelompok ikan adalah ikan agnatha, salem, dan belut lamprey. Supaya lebih

mudah memahami metamorfosis sempurna, maka di bawah ini akan dijelaskan contoh-contoh hewan yang mengalami metamorfosis sempurna.

1. Kupu-Kupu

Siapa yang tidak kenal dengan hewan kupu-kupu. Hewan ini sering kita temui pada bunga-bunga yang memiliki nektar. Kupu-kupu sering hinggap di bunga karena nektar bunga menjadi makanan utama dari kupu-kupu. Kupu-kupu menjadi hewan yang tergolong ke dalam metamorfosis sempurna karena perubahan wujud dari hewan muda menuju ke dewasa sangat berbeda. Untuk lebih jelasnya mari kita simak gambar di bawah ini.



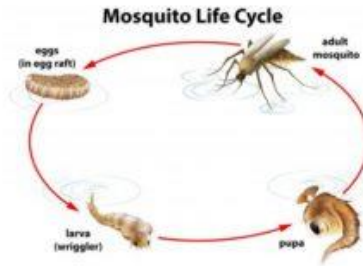
Gambar 12.1. Metamorfosis Kupu-Kupu
(Sumber :freepik.com)

Kupu-kupu mengalami metamorfosis sempurna. Tahap pertama, kupu-kupu akan bertelur. Telur kupu-kupu akan menetas dalam waktu enam hingga 12 hari lalu menjadi larva atau ulat. Ulat akan berubah menjadi kepompong dalam waktu tiga sampai empat minggu. Ketika kepompong menetas, maka ulat telah berubah menjadi kupu-kupu.

Berdasarkan gambar di atas, metamorfosis pada kupu-kupu dimulai dari telur yang berasal dari perkawinan kupu-kupu jantan dengan kupu-kupu betina. Kemudian, telur itu berubah menjadi ulat yang biasa kita temukan pada dedaunan. Lalu, ulat berubah menjadi kepompong atau pupa dengan cangkang untuk melindungi tubuh. Setelah beberapa lama, kepompong akan berubah menjadi kupu-kupu muda dan

beberapa hari kemudian akan berubah menjadi kupu-kupu dewasa.

2. Nyamuk



Gambar 12.2. Metamorfosis Nyamuk
(Sumber : freepik.com)

Contoh hewan berikutnya yang mengalami metamorfosis sempurna adalah nyamuk. Hewan ini sering kita temui pada malam hari dan terkadang nyamuk mengganggu tidur seseorang, baik itu karena suaranya atau karena gigitannya. Meskipun nyamuk sangat suka terbang, tetapi indukan nyamuk akan menyimpan telurnya di permukaan air yang tenang. Oleh sebab itu, kita harus rajin membersihkan bak mandi supaya tidak ada telur nyamuk.

Berdasarkan gambar di atas, telur menjadi fase awal terjadinya metamorfosis sempurna pada nyamuk. Setelah telur menetas akan berubah menjadi seekor larva. Larva ini akan beradaptasi untuk mencari makan supaya bisa melanjutkan hidupnya ke fase pupa. Setelah fase larva sudah selesai, selanjutnya adalah fase pupa. Fase terakhir dari metamorfosis pada nyamuk adalah nyamuk menjadi dewasa.

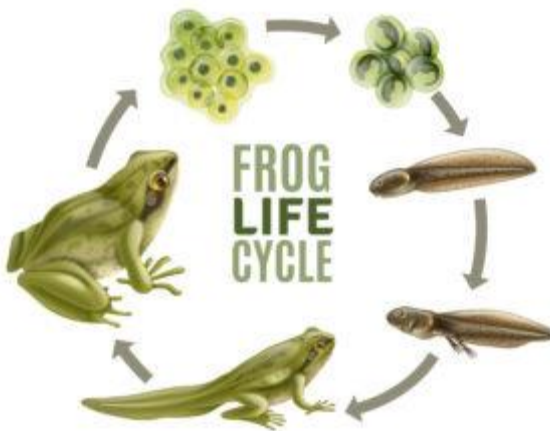
3. Katak

Katak termasuk hewan amfibi karena hidup di darat dan air. Katak mengalami metamorfosis sempurna. Merujuk buku IPA Terpadu, pertumbuhan dan perkembangan katak diawali dengan pembuahan sel telur oleh sperma. Sel telur yang dibuahi

oleh sperma akan membentuk zigot. Pembuahan ini terjadi di luar tubuh betina (fertilisasi eksternal), yaitu di air. Zigot berkembang menjadi embrio dalam beberapa tahap, yaitu:

1. Morula: Terbentuk tiga hingga 7 jam setelah pembuahan.
2. Blastula: Terbentuk 18 jam setelah pembuahan.
3. Gastrula: Terbentuk 34 jam setelah pembuahan.

Sekitar 84 jam setelah pembuahan, ekor mulai dapat terlihat. Sekitar enam hari kemudian, embrio akan menetas menjadi larva yang disebut berudu atau kecebong. Setelah berumur dua hari, berudu mempunyai tiga pasang insang luar berbulu untuk bernapas. Dalam perkembangan selanjutnya, insang luar berganti dengan insang dalam setelah sembilan hari. Sekitar 12 hari kemudian, terbentuk tutup insang. Berudu hidup di air dan bersifat herbivora. Pada umur 12 minggu, kaki depan berudu mulai terbentuk dan ekornya menjadi pendek serta bernapas menggunakan paru-paru. Usus menjadi lebih pendek, insang mengalami kemunduran lalu berudu berkembang menjadi katak. Setelah berumur satu tahun, katak berkembang menjadi dewasa dan bernapas menggunakan paru-paru dan kulit.



Gambar 12.3. Metamorfosis Katak
(Sumber : freepik.com)

Musim hujan menjadi musim yang sangat disenangi oleh hewan katak. Hal ini dikarenakan pada musim ini air banyak yang turun ke permukaan, sehingga katak akan bebas berloncat-loncat. Katak termasuk ke dalam kategori hewan yang mengalami metamorfosis sempurna. Hal itu dapat dilihat pada bentuk kecebong yang sangat berbeda dengan bentuk katak ketika dewasa. Perbedaan itulah yang menyebabkan katak menjadi hewan bermetamorfosis sempurna.

Berdasarkan gambar di atas, telur menjadi fase awal dari metamorfosis sempurna katak. Kemudian dilanjutkan dengan telur yang berubah menjadi kecebong tanpa kaki. Setelah mengalami perkembangan, kecebong memiliki dua kaki. Kaki kecebong yang berjumlah semakin bertambah dibarengi tubuh kecebong yang ikut mengalami perubahan, sehingga menjadi katak muda. Katak muda pun berkembang menjadi katak dewasa yang kemudian berkembang biak dan menghasilkan telur-telur katak.

11.2.2 Metamorfosis Tidak Sempurna (Heterometabola)

Metamorfosis tidak sempurna adalah metamorfosis yang dalam perkembangannya menuju dewasa mengalami perubahan bentuk tubuh, penampilan dan perilaku yang hampir sama atau tidak jauh berbeda. Jika pada metamorfosis sempurna terjadi tahapan yang berbeda-beda, lain halnya dengan metamorfosis tidak sempurna yang hanya melewati tahapan yang hampir sama. Tahapan-tahapan itu dimulai dari hewan bertelur, kemudian menjadi nimfa, kemudian nimfa ini akan tumbuh menjadi dewasa (imago). Metamorfosis tidak sempurna dikenal dengan sebutan hemimetabola.

I. Tahapan Metamorfosis Tidak Sempurna

Di bawah ini akan dijelaskan tahapan-tahapan yang terjadi pada metamorfosis tidak sempurna.

a. **Fase telur**

Fase telur ini merupakan fase yang sama seperti hewan dengan metamorfosis sempurna. Telur yang dihasilkan dari hasil perkawinan antara hewan jantan dan betina akan diletakkan di habitat aslinya. Bukan hanya diletakkan di habitat aslinya, tetapi sang induk akan memastikan apakah telur yang diletakkan sudah aman dari serangan predator atau belum. Jika belum aman dari serangan predator, maka sang induk akan mencari tempat yang baru.

Fase telur ini terdiri dari embrio-embrio yang diberikan perlindungan oleh struktur telur yang bercangkang. Waktu yang dibutuhkan pada fase telur ini sangat beragam dan sangat bergantung pada jenis hewan dan masa waktu yang dibutuhkan untuk berubah ke wujud nimfa.

b. **Fase nimfa**

Fase kedua dari metamorfosis tidak sempurna adalah fase nimfa. Fase nimfa ini berbeda dengan fase larva yang ada di metamorfosis sempurna. Fase larva wujud hewan muda akan berbeda dengan wujud hewan yang sudah dewasa. Sementara itu, fase nimfa wujud hewan muda akan sama dengan wujud hewan dewasa hanya saja ukurannya berbeda.

Ukuran hewan muda pada metamorfosis tidak sempurna lebih kecil, kemudian ketika dewasa ukuran dewasa, ukuran hewan akan semakin membesar. Meskipun ukurannya berbeda, tetapi wujudnya tidak mengalami perubahan. Hal yang berubah pada hewan metamorfosis tidak sempurna adalah bagian organ tubuh dan organ reproduksi saja. Pergantian ukuran tubuh pada nimfa ketika dewasa melewati yang namanya perubahan kulit atau ecdysis. Dengan demikian, fase nimfa ini hampir sama dengan fase larva (metamorfosis sempurna) hanya saja tidak mengalami perubahan wujud yang sangat berbeda.

c. Fase imago

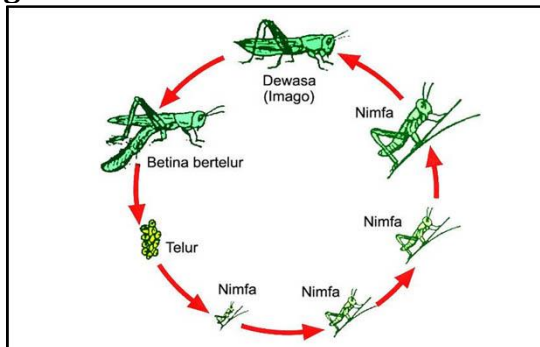
Fase imago menandakan bahwa hewan bermetamorfosis tidak sempurna sudah melewati fase nimfa. Jika dilihat dengan saksama, maka tubuh atau wujud (tampak dari luar) dari fase nimfa ke imago hanya mengalami perubahan ukuran tubuh saja. Fase imago adalah fase dewasa yang terjadi pada hewan dengan metamorfosis sempurna dan tidak sempurna. Pada fase imago, seluruh organ tubuh dan organ reproduksi sudah mengalami kematangan. Organ reproduksi yang sudah mengalami kematangan, maka hewan bisa melakukan perkembangbiakan dan mengulangi siklus metamorfosis tidak sempurna.

Jadi, bisa dikatakan bahwa hewan dengan metamorfosis sempurna akan mengalami perubahan wujud (tampak luar) yang sangat berbeda dari usia muda ke usia dewasa. Sedangkan hewan dengan metamorfosis tidak sempurna perubahan tubuh (tampak dari luar) dari usia muda ke usia dewasa perbedaannya tidak begitu tampak.

II. Contoh Hewan Metamorfosis Tidak Sempurna

Setelah membahas, contoh hewan dengan metamorfosis sempurna, maka yang akan dibahas selanjutnya adalah contoh hewan yang bermetamorfosis tidak sempurna.

1. Belalang

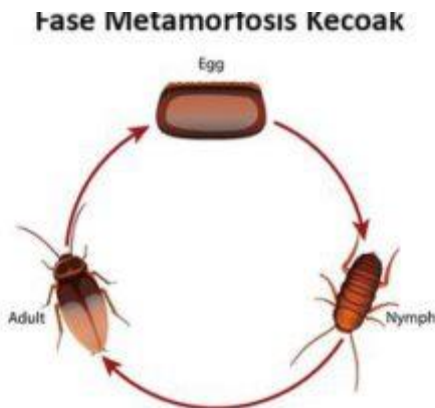


Gambar 12.4 Metamorfosis Belalang
(Sumber : belajargiat.id)

Hewan belalang ini sering kita temukan di persawahan atau perkebunan, mulai dari belalang dengan ukuran kecil hingga belalang berukuran besar. Terkadang belalang ini dijadikan sebagai santapan oleh beberapa orang karena dianggap rasanya yang gurih. Belalang menjadi bagian hewan yang bermetamorfosis tidak sempurna karena perubahan dari nimfa ke belalang dewasa tidak mengalami perubahan wujud yang signifikan. Perbedaan yang terjadi pada belalang muda dengan belalang dewasa hanya sebatas pada ukuran tubuh saja.

Dari gambar di atas, belalang metamorfosis tidak sempurna belalang bermula dari telur yang berasal dari induk atau belalang betina. Setelah telur menetas, kemudian berubah menjadi nimfa atau belalang muda. Setiap perkembangan belalang muda menuju dewasa tidak ada perubahan wujud yang signifikan kecuali ukuran tubuh belalang.

2. Kecoak



Gambar 12.5. Metamorfosis Kecoak
(Sumber : freepik.com)

Hewan kecoak termasuk ke dalam jenis hewan yang suka hidup di tempat-tempat yang lembab, seperti kamar mandi. Meskipun hewan ini berukuran kecil, tetapi ia bisa

terbang. Bahkan, bagi sebagian orang, hewan ini sangat menakutkan terutama pada saat terbang, apakah kamu salah satunya? Kecoak menjadi hewan yang bermetamorfosis tidak sempurna karena bentuk tubuhnya saat muda hingga dewasa hanya berubah pada ukuran saja. Dengan kata lain, wujud dari kecoak muda hingga dewasa tidak mengalami perubahan.

Dari gambar di atas, metamorfosis tidak sempurna kecoak bermula dari telur. Lalu berubah menjadi nimfa atau kecoak muda. Setelah kecoak muda berkembang, ia akan menjadi kecoak dewasa yang memiliki tubuh yang sama dengan kecoak muda.

12.3 Kesimpulan

Metamorfosis merupakan bagian dari proses dari pertumbuhan atau perkembangan dari hewan. Perbedaan metamorfosis sempurna dan metamorfosis tidak sempurna terletak pada perubahan wujud dari hewan tersebut. Jika hewan mengalami perubahan wujud yang signifikan, maka hewan tersebut masuk ke dalam metamorfosis sempurna. Sedangkan hewan yang tidak mengalami perubahan signifikan, maka hewan tersebut termasuk ke dalam hewan dengan metamorfosis tidak sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

- Irwandi. (2020). Strategi Pembelajaran Biologi : Lesson Study, Literasi Sains. Jakarta : Pustaka Reka Cipta
- Tim Olimpiade Biologi Internasional. (2017). Biologi: Ringkasan Materi Olimpiade Biologi Internasional (Edisi 6). Jakarta : Penerbit ltb
- Metamorfosis pada hewan. Diakses pada 24 Januari 2023, dari <https://www.freepik.com/search?format=search&query=metamorfosis%20pada%20hewan>
- Metamorfosis Hewan. Diakses pada 24 Januari 2023, dari <https://belajargiat.id/pengertian-metamorfosis/>

BAB 13

PRODUKSI EMBRIO SAPI MELALUI TEKNOLOGI SPLITTING

13. 1 Pendahuluan

Seiring dengan kemajuan teknologi, perkembangan teknologi reproduksi juga mengalami peningkatan yang pesat. Peningkatan teknologi reproduksi peternakan dimulai dengan penerapan inseminasi buatan (IB) pada anjing oleh Lazzaro Spallanzani (1784). Penggunaan inseminasi buatan berdampak positif terhadap peningkatan populasi dan produksi ternak. Namun inseminasi buatan masih memiliki kelemahan yaitu program seleksi betina belum bisa terkontrol di peternak karena lebih menekankan pada seleksi pejantan unggul. Kemudian ditemukan teknologi reproduksi yaitu transfer embrio yang memiliki keunggulan lebih baik dibanding inseminasi buatan karena pada embrio transfer disamping memperhatikan kualitas pejantan juga kualitas betinanya sehingga percepatan genetik lebih efisien. Embrio transfer pertama kali dilakukan pada kelinci oleh Heape tahun 1890 dan Willet dari USA mencoba melakukan transfer embrio pada ternak sapi.

Produksi embrio secara *in vivo* yang sudah umum dilakukan secara meluas yaitu teknik multi ovulasi embrio transfer (MOET) (Cunningham, 1999). Teknik MOET bertujuan untuk memproduksi embrio secara *in vivo* satu kali siklus dalam jumlah yang banyak. Satu kali produksi embrio dapat mencapai 30 embrio namun rata-rata hanya lima sampai tujuh embrio yang bisa ditransfer atau dibekukan (Situmoang dan Endang, 2004). Proses produksi embrio awalnya dilakukan secara *in vivo* namun terjadi berbagai masalah diantaranya bervariasinya

superovulasi dari respon sapi donor, jumlah sapi donor yang terbatas, dan tidakstabilnya immunoaktifitas hormon superovulasi (FSH) (Gong et al., 1993 dan Kanitz et al., 2003). Selanjutnya ditemukan teknologi produksi embrio secara in vitro (IVF) sebagai alternatif lebih baik dibandingkan memproduksi embrio secara in vivo.

Fertilisasi in vitro (IVF) adalah terjadinya pembuahan oosit oleh spermatozoa diluar tubuh induk. (Hunter, 1995). Keterbatasan tersedianya oosit dalam satu individu menjadi masalah tersendiri produksi embrio secara in vitro. Permasalahan keterbatasan oosit dalam memproduksi embrio secara in vitro (IVF) dapat diatasi dengan teknik splitting embrio. Selama bertahun-tahun telah diupayakan untuk meningkatkan efisiensi reproduksi ternak menggunakan bioteknologi splitting embrio. Splitting embrio merupakan teknik menggandakan embrio menjadi dua bagian yang bisa dilakukan pada fase cleavage untuk teknik biopsi embrio dan fase morula, early blastula, blastula, atau fase expanded blastula pada teknik biseksi embrio. Teknik splitting embrio bisa meningkatkan produksi embrio yang dapat didonorkan ke ternak sapi resipien (Imron et all., 2007). Menurut Halsler (1992) melalui splitting embrio keberhasilan transfer embrio akan meningkat karena jumlah produksi embrio dua kali lebih banyak daripada produksi embrio tanpa splitting. Keuntungan lain dari splitting embrio adalah dapat memberikan embrio tambahan untuk dikriopreservasi pada masa yang akan datang (Illmensee dan Levanduski 2010), sehingga untuk meningkatkan efisiensi produksi embrio dapat dicapai dengan membuat splitting embrio.

Teknologi reproduksi splitting embrio bisa meningkatkan jumlah embrio yang dapat ditransfer ke ternak resipien sehingga persentase kebuntingan per embrio utuh meningkat. Metode splitting embrio diharapkan menjadi teknologi reproduksi yang prospek, optimalisasi, dan efisien untuk diterapkan terutama pada ternak yang memiliki nilai ekonomis yang tinggi.

Berdasarkan latarbelakang tersebut artikel ini dibuat untuk mengkaji proses splitting embrio pada ternak sapi. Sehingga terjadi peningkatan efisiensi produksi embrio melalui teknologi reproduksi splitting pada ternak sapi.

13.2 Gambaran Umum Splitting Embrio

Splitting embrio adalah salahsatu teknologi reproduksi pembelahan embrio pada fase embriolik. Hasil pembelahan splitting embrio disebut demi embrio. Splitting embrio merupakan bioteknologi reproduksi yang memungkinkan memperoleh demi embrio identik. Splitting embrio bisa digunakan dalam riset (Godke et all, 2014) atau industri peternakan (Praharani, 2019). Tujuan pembelahan embrio adalah untuk meningkatkan jumlah demi embrio yang tersedia untuk transfer embrio. Demi embrio yang dihasilkan berupa ternak yang unggul secara genetik (Yang et all, 2007; Wackhaure et all 2016). Pembelahan (splitting) embrio mengacu pada pembentukan embrio secara *in vitro*. Blastomer masih berpotensi berkembang menjadi sel baru (totipotensi) pada tahap awal pembentukan embrio (Rahbaran *et al.*, 2021). Pembelahan embrio (splitting) telah dilakukan pada embrio beberapa spesies (sunoda, et all., 1985; Ramon, et all., 2012; Hashiyada, 2017).

13.3 Sejarah Splitting Embrio

Proses splitting pertama kali dilakukan pada tikus dengan pemotongan embrio pada fase blastosis (Tarkowski et all., 1967). Studi lebih lanjut Tsunoda et all (1983) pada tikus menunjukkan 65% dari embrio berhasil didonorkan ke resepien namun tidak berhasil lahir. Papaioannou et all (1989) berhasil melahirkan tikus yang mirip dengan induknya melalui splitting embrio. Splitting embrio juga telah berhasil dilakukan pada beberapa ternak. Pada domba 36% embrio hasil splitting (demi embrio) berhasil didonorkan pada domba betina (Willadsen,

1980). Anak kambing kembar monozigot diproduksi dari embrio hasil splitting (Tsunoda et all., 1984). Anak kuda dilahirkan dan hidup hasil dari splitting embrio (Allen et all., 1984), Selain itu, demi embrio kambing berhasil didonor ke betina yang identik secara genetik dapat berkembang menjadi kembar tical (Oppenheim et all., 2000). Selanjutnya, demi embrio sapi yang dibekukan dengan krioprotektan didonorkan ke betina resipien menghasilkan anak sapi monozigot yang lahir hidup (Seike et all., 1991). Di babi, splitting embrio mampu menghasilkan anak babi kembar (Reichel et al., 1994). Proses splitting embrio juga berhasil dilakukan pada monyet dan lahir dengan hidup (Mitalipov et all., 2002).

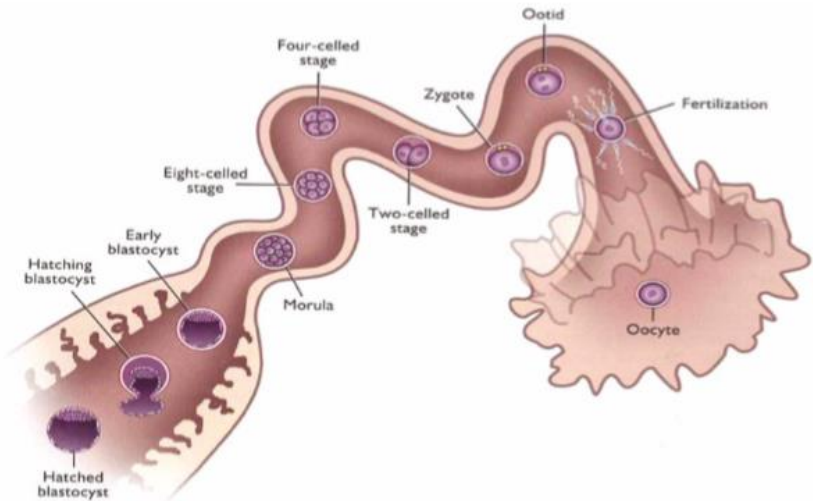
Tabel 13.1. Beberapa spesies yang berhasil dilakukan embrio splitting

No	Spesies	Referensi
1	Kelinci	Skrzyszowska et all., 1997
2	Sapi	Hashiyada, 2017
3	Domba	Vivanco et all., 1991
4	Kambing	Tsunoda et all., 1985
5	Kuda	McKinnon et all., 1989
6	Babi	Reichelt et all., 1994
7	Manusia	Noli et all., 2017

13.4 Fase Perkembangan Embrio

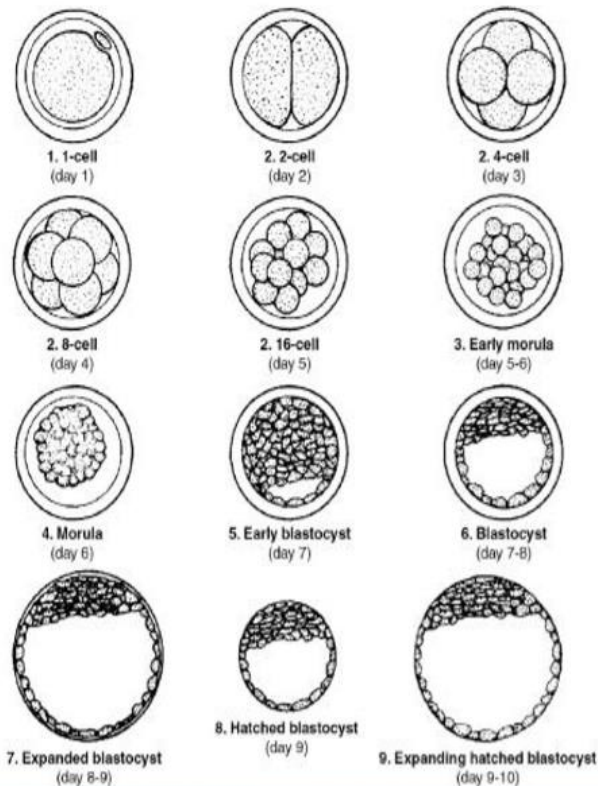
Fertilisasi antara spermatozoa dengan oosit merupakan awal perkembangan embrio. Oosit yang matang diperoleh dari hasil ovulasi secara in vivo (ovulasi secara alami) atau melalui maturase secara in vitro. Oosit yang diperoleh adalah oosit yang siap dibuahi dalam kondisi matang yang berada pada fase

metaphase II. Selanjutnya pembuahan terjadi karena aktivasi yang dilakukan oleh spermatozoa ketika menembus zona pellucida yang ada pada oosit.



Gambar 13.1. Skema fertilisasi secara in vivo dan Perkembangan embrio di dalam saluran reproduksi betina (Senger, 2005)

Aktivasi oosit dilakukan oleh spermatozoa terjadi ketika proses fertilisasi pada saat spermatozoa melakukan inisiasi terhadap fluktuasi Ca^{2+} di dalam oosit sehingga terbentuk pronukleus. Fluktuasi Ca^{2+} selama fertilisasi terjadi sampai beberapa jam sampai terbentuk pronukleus dan terjadi awal pembelahan mitosis embrio (Jones, 2007) membentuk genom embrio (Gardner et al., 2007).



Gambar 13.2. Fase Perkembangan embrio (Robertson dan Nelson 2009).

13.5 Kriteria Embrio yang bisa di Splitting

1. Embrio hasil in vitro/ in vivo segar
2. Kualitas embrio asal yang normal: salah satu faktor terpenting yang terkait dengan potensi untuk menyusun kembali menjadi demi-embrio yang layak setelah pembelahan. (Lorenzo-Torres et all., 2021)
3. Bentuk spherical (bulat dan oval)
4. Rongga blastosel terbentuk jelas dan menempati 60% dari volume total blastotis (teknik biseksi)
5. Jumlah sel blastosis berkembang biak dengan maksimal 10% sel terdegenerasi (Teknik biseksi)

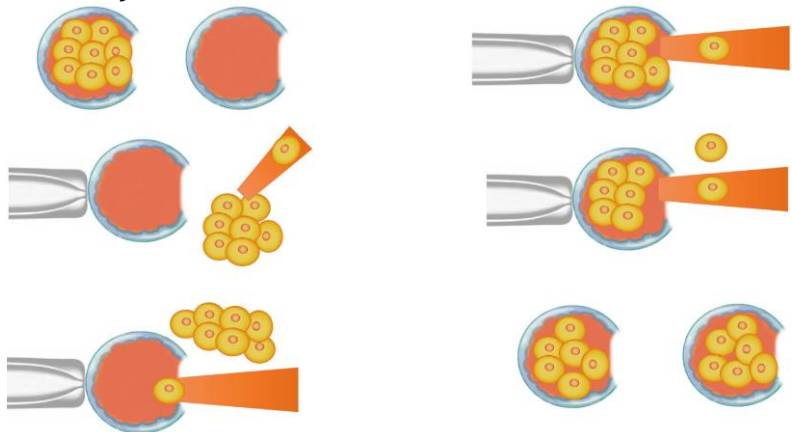
6. Posisi dan inner cell mass (ICM) jelas, berkembangbiak dan normal (Linares dan King, 1980) (Teknik biseksi)

13.6 Metode Splitting Embrio

Splitting embrio dapat dilakukan dengan 2 metode yaitu pembelahan (biseksi) embrio 6-8 hari setelah proses fertilisasi dan pemisahan blastomer (biopsi) selama tahap awal pembelahan embrio (*Cleavage*) (Hashiyada, 2017)

1. Biopsi/pemisahan blastomer

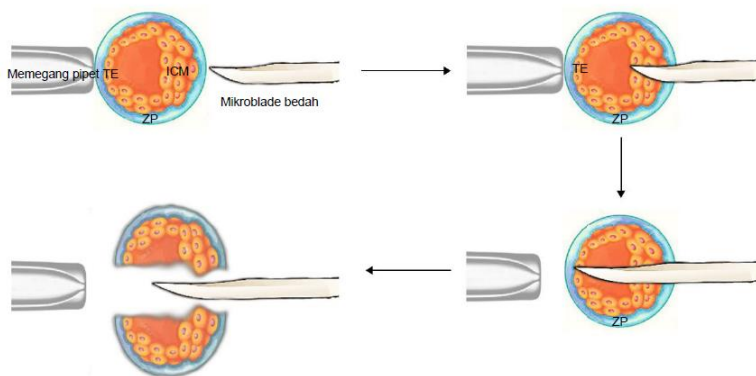
Teknik ini mengeluarkan blastomer embrio ke dalam zona pellusida kosong. Pengencer tyrode digunakan untuk melubangi zona pelusida, kemudian blastomer dikeluarkan dengan menggunakan pipet aspirasi. Selanjutnya, blastomer kemudian ditransfer ke dalam zona pelusida kosong (Kalma *et al.*, 2018). Pada embrio tahap pembelahan awal dengan 6 sel, tiga sel dapat dibiopsi dan dimasukkan dalam zona pelusida yang kosong kemudian dikultur hingga membentuk blastokista (Illmensee *et al.*, 2011). Teknik biopsi telah berhasil dilakukan pada domba, sapi, kuda dan babi (Rahbaran *et al.*, 2021)



Gambar 13.3. Metode biopsi embrio (Rahbaran *et al.*, 2021)

2. Biseksi (Pemotongan Embrio)

Teknik membagi embrio menjadi dua bagian yang sama dan mengandung blastokista, tropektoderm dan inner cell mass (ICM). Teknik ini terbukti efektif pada domba, kucing, kambing dan babi (Rahbaran et al., 2021). Proses biseksi dapat dilakukan secara sederhana dengan memotong embrio secara vertical dari atas zona pelusida (Matsumoto *et al.*, 1987; Yang *et al.*, 1987) ataupun menggunakan mikroskop *inverted* dan mikromanipulator joystick hidrolisk tiga dimensi yang dilengkapi dengan bilah logam (Hashiyada, 2017). Teknik biseksi dapat diterapkan pada embrio yang berkembang pada tahap morula atau blastokista dengan membedah menjadi dua bagian yang serupa secara mekanis (Ozil, 1983; Escriba et al., 2002; Tang H et al., 2012). Pembelahan morula dapat dilakukan pada setiap posisi embrio, karena morfologinya yang masih simetris (Williams et al., 1984). Biseksi pada bagian blastosis yang perlu diperhatikan adalah distribusi inner cell mass (ICM) dan trofektoderm (TE) untuk menghasilkan demi embrio yang baik (Illmensee, et al., 2010).



Gambar 13.4. Metode biseksi blastokista
(Rahbaran et al., 2021)

13.7 Tahapan Splitting Embrio

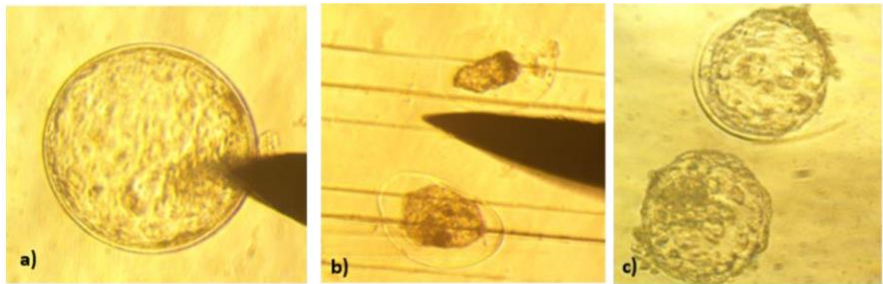
Secara rinci, tahapan splitting embrio adalah sebagai berikut (Silvestri et al., 2022):

- a. Koleksi dan maturasi oosit
 1. Folikel pada ovarium dengan ukuran 3-8 mm disedot menggunakan jarum.
 2. Oosit dengan ooplasma homogen dan memiliki 2 lapisan sel cumulus yang kompak diseleksi dan dimasukkan dalam media 199, 0,2 mM asam piruvat dan antibiotic
 3. Oosit dicuci dua kali dan dimaturasi selama 18-22 jam dalam medium 199 yang ditambahkan 10% FBS, 10 IU/ml PMSG, 5 IU/ml hCG, 0,2 mM piruvat dan antibiotik pada suhu 38,5 C dan 6,5% CO₂.
- b. Fertilisasi In vitro
 1. Oosit dicuci dua kali dalam media TALP bebas glukosa yang disuplementasi antibiotik, heparin 10 g/l dan larutan PHE 1:25.
 2. Oosit dipindahkan dalam drop fertilisasi dan dimasukkan spermatozoa, dikultur pada suhu 38,5 °C dengan 6,5% CO₂ selama 18-22 jam
 3. Zigot yang terbentuk dipindahkan ke media HEPES modifikasi dan TALP bebas glukosa. Selanjutnya zigot dicuci dua kali dalam media SOFaaci pre ekuilibrasi, ditambahkan 5% FBS, 5 mg/ml BSA dan antibiotic kemudian dikultur pada suhu 38,5 C dan 6,5% CO₂. Dan 5% O₂. Media diganti setelah 48 jam dan 92 jam.
- c. Splitting embrio tipe biopsy (separasi blastomer)
 1. Proses splitting dilakukan 30 jam atau 72 jam setelah inseminasi atau embrio berada pada tahap 2 sel atau 8 sel
 2. Embrio dibilas dalam PBS untuk menghilangkan sebagian besar Ca²⁺ dan Mg²⁺ yang terbawa dari media kultur.

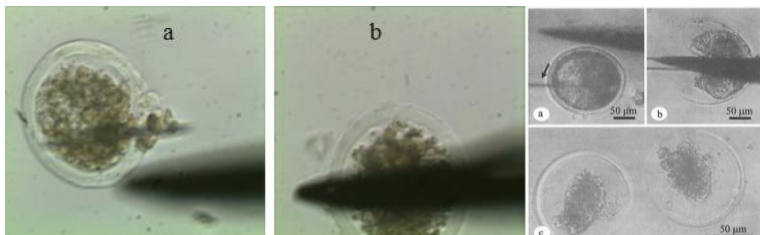
3. Pronase E 0,25% digunakan untuk mencerna zona pelusida selama 7 menit kemudian embrio dicuci dalam PBS.
 4. Blastomer dicuci satu kali dalam 10% FBS pada PBS kemudian dicuci dengan SOFaaci pra ekuilibrase dan dikultur dalam cawan pada suhu 38,5 C dan 6,5% CO₂. Dan 5% O₂
 Penambahan bovine serum dimaksudkan untuk mencegah adhesi embrio pada cawan dan memfasilitasi penanganan embrio selama mikromanipulasi (Herr *et al.*, 1991)
 5. Manipulasi dilakukan pada suhu 38 C dengan menggunakan tip berukuran 125 µm.
- d. Splitting embrio tipe biseksi (fase blastokista)
1. Embrio yang digunakan adalah blastokista grade I yang diperoleh 6 hari setelah inseminasi. Embrio yang akan dilakukan splitting adalah embrio yang berada pada fase morula/fase blastosida, yaitu umur embrio 7 hari setelah fertilisasi yang jumlah selnya berkisar 64.
 2. Embrio dibilas sekali dalam PBS kemudian ditempatkan dalam drop 50 µl PBS di bawah minyak mineral
 3. Pisau bedah steril dipasang pada micromanipulator untuk membagi embrio menjadi dua bagian yang sama besar. Pembelahan embrio menggunakan pisau pembedah mikroskopis (bottom dish) untuk menembus zona pellucida. (Bredbacka, 1991) (Gambar 13.5b). Pisau ditempatkan tepat di garis tengah embrio di bagian atas zona pellucida dan menekannya ke arah bagian bawah cawan, bilah pisau secara bertahap didorong ke bawah untuk memotong secara merata, terutama di daerah ICM dan sel trofoblas dari tahap awal perkembangan blastokista (Hashiyada, 2017). Embrio dibelah dua

dan diproduksi secara in vitro dengan microblade (Gambar 12.5a),

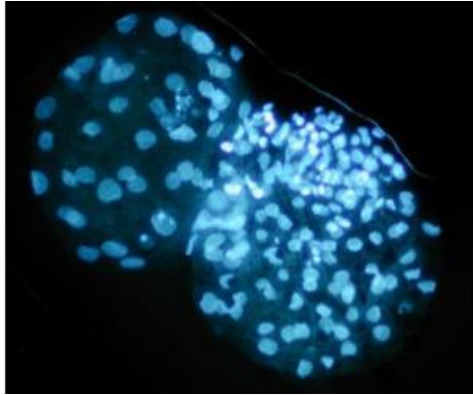
4. Hasil splitting dicuci sekali dalam FBS 10% dan sekali dengan SOFaaci pra ekuilibrasi
5. Kultur dilakukan pada suhu 38,5 C dan 6,5% CO₂ dan 5% O₂ selama 24 jam
6. Demi embrio yang dihasilkan mengalami rekonstitusi yang benar-benar bulat (70 % ukuran embrio asli) 12 jam setelah kultur in vitro (Gambar 12.5c)
7. Demi embrio yang dihasilkan bisa dibekukan (disimpan pada container pada suhu -196°C) atau langsung di transfer embrio ke sapi resipien.



Gambar 13.5. Proses Splitting embrio dan rekonstitusi demi-embrio setelah 12 jam kultur in vitro. a) Expanded blastosis yang berbentuk simetris terhadap microblade yang membelah dua, b) Demi embrio yang dihasilkan, c) Rekonstitusi demi embrio



Gambar 13.6. Proses splitting; a. Goresan pada cawan petri, b. pembedahan embrio, c. demi embrio (Imron et al., 2007)



Gambar 13.7. Pewarnaan sel (Hoechst) dari demi-embrio in vitro setelah 12 jam kultur. Pembesaran 200 X (Lorenzo-Torres, et all., 2022)

13.8 Kelebihan dan Kekurangan Teknik Splitting Embrio Biopsi dan Biseksi

Masing-masing teknik splitting memiliki kelebihan dan kelemahan. Teknik biseksi dapat diterapkan untuk embrio yang diproduksi secara in vivo maupun in vitro (Hashiyada, 2017). Teknik pemotongan pada metode biseksi dilakukan menggunakan bilah logam pada mikromanipulator (Williams *et al.*, 1988; Matsumoto *et al.*, 1987; Yang & Foote, 1987; Saito dan Niemann, 1993). Sedangkan kelemahan dari teknik biseksi adalah kerusakan fisik pada embrio akibat pemotongan (Tao *et al.*, 1995; Skrzyszowska dan Smorag, 1989; Skrzyszowska dan Smorag, 1997; Dahlen *et al.*, 2012).

Pada tahapan splitting metode biopsi diterapkan pada embrio tahap awal sehingga memerlukan teknik yang cukup rumit yaitu koleksi embrio in vivo dari oviduk dengan cara pembedahan, enkapsulasi blastomer menggunakan zona pelusida kosong dan gel agarosa, transfer blastomer, recovery embrio dan penghilangan gel agarosa (Willadsen *et al.*, 1981). Sedangkan keuntungan dari teknik biopsy adalah tingkat kerusakan embrio yang lebih rendah (Hashiyada, 2017). Selain

itu, metode ini mampu menghasilkan embrio kembar 4 monozygotik yang berasal dari empat sel (Johnson *et al.*, 1995).

Tabel 13.2. Kelebihan dan kekurangan teknik biopsi dan biseksi embrio

Metode splitting	Tahap embrio	Kelebihan	Kekurangan	Referensi
Biopsi blastomer	Pembelahan awal (cleavage)	Dapat diaplikasikan pada embrio pra implantasi	Efisiensi rendah pada beberapa spesies jika menggunakan embrio tahap 4 sel	Rastogi dan Kakkar (2020)
Biseksi	Morula dan blastokista	Menghasilkan kembar identik (monozygotik) pada sapi, kambing dan babi	Kerusakan sel	Voelkel et al. (1985)

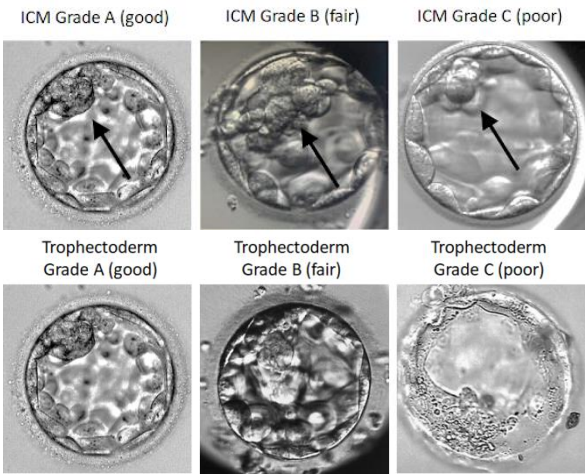
13.9 Keberhasilan Splitting Embrio

Keberhasilan embrio setelah splitting dapat diamati pada perkembangan embrio *in vitro* maupun perkembangan embrio *in vivo* (kebuntingan). Secara *in vitro* dapat diketahui dengan pengamatan blastokista yang terbentuk setelah splitting. Proses splitting embrio dapat dilakukan pada fase morula, early blastosis, atau fase expanded blastosis. Memperhatikan fase perkembangan embrio merupakan salah faktor penting yang berpengaruh terhadap tingkat keberhasilan splitting (Williams, 1984). Berdasarkan beberapa penelitian ditemukan bahwa pada tahap morula persentase keberhasilan yang lebih rendah dari pada pada tahap expanded blastosis setelah kultur *in vitro* selama 24 jam (Wang et al., 1990). Teknik splitting yang paling mudah dilakukan dan memiliki keberhasilan yang terbaik adalah pada fase expanded blastosis dibandingkan pada fase morula dan early blastosis. Pada fase expanded blastosis ICM dan TE mudah diidentifikasi dengan jelas. Keberhasilan fase expanded

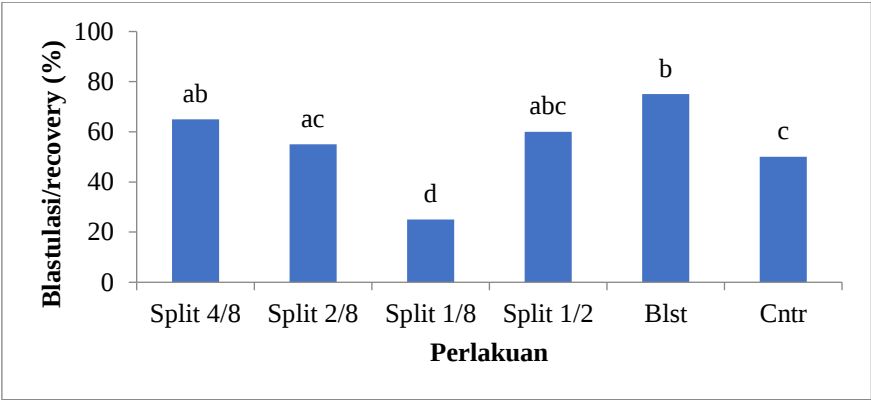
blastosis karena pada fase ini lebih toleren terhadap manipulasi dan hilangnya zona pellucida (Williams, 1984).

Tabel 13.3. Karakteristik blastokista berdasarkan tingkatan *grade* (Tang et al., 2012)

Kualitas blastokista	Karakteristik
Grade 1	• ICM banyak dan padat • Banyak sel trophectoderm terorganisasi dalam epithelium • Blastocoele mengisi penuh blastokista
Grade 2	• ICM tidak banyak dan sedikit padat • Beberapa sel trophectoderm terorganisasi dalam epithelium • Blastocoele mengisi lebih dari separuh blastokista
Grade 3	• ICM sedikit • Sel trophectoderm sedikit • Blastocoele mengisi kurang dari separuh blastokista



Gambar 13.8. Kondisi ICM dan tropektoderm blastokista berdasarkan tingkatan *grade* (<https://www.remembryo.com>)



Gambar 13.9. Persentase blastulasi yang diperoleh melalui teknik splitting (Silvestri *et al.*, 2022)

Tabel 13.4. Pengaruh tahap perkembangan embrio terhadap keberhasilan splitting setelah transfer embrio pada sapi (Hashiyada, 2017).

Tahap perkembangan embrio	Kebuntingan	Kebuntingan kembar
Morula kompak	38.8%	11.5%
Blastokista awal	53.2%	18.1%
Blastokista	36.4%	6%
Expanded blastokista	30%	10%

13.10 Manfaat Splitting Embrio

- Manfaat dari splitting Embrio yaitu;
1. Meningkatkan ketersediaan embrio (Hashiyada, 2017; Rho et al., 1998). Penyediaan embrio bagi ternak yang jumlah oositnya sedikit, embrio dapat ditransfer ke uterus resipien sedangkan kembarannya (demi embrio) dapat dibekukan untuk digunakan di kemudian hari (Casser *et al.*, 2019).

2. Meningkatkan tingkat kebuntingan (Dahlen et all, 2012; Baker et all., 1985)
3. Memperbanyak jumlah keturunan dibanding dengan transfer embrio utuh (Ozil, 1983; Chesne et all., 1987; Saito, 1993; Dahlen et all., 2012)
4. Efisiensi Jumlah Keturunan yang lahir dari splitting embrio
5. Penyakit genetik dapat didiagnosis sedini mungkin sebelum implantasi. Salah satu embrio hasil splitting ditransfer ke uterus resipien dan demi embrio didiagnosis di laboratorium (Rahbaran et al., 2021; Tenriawaru, 2013)
6. Peningkatan mutu genetik (Vivanco – Mackie, 2001; Parera, 2014.
7. Ternak yang memiliki mutu genetik bagus bisa memproduksi embrio melebihi dari kapasitasnya (Badassarre dan karatzas, 2004)
8. Pengobatan penyakit genetik dengan terapi gen pada tahap awal pembentukan embrio (Omidi et al., 2020).
9. Produksi jaringan atau organ secara in vitro. Jika keturunan membutuhkan transplantasi jaringan atau organ, maka demi embrio dapat digunakan untuk memproduksi jaringan atau organ tersebut (Noli *et al.*, 2016).
10. Penerapan teknologi splitting embrio menunjukkan keuntungan ekonomi karena jumlah keturunan meningkat (Yang et all., 2007; Echternkamp et all., 2022; De Rose dan Wilton, 1991). Oleh karena itu, pembelahan embrio dapat diimplementasikan dalam program transfer embrio (Praharani, 2019; Vivanco et all., 1991).
11. Menghasilkan kembar identik untuk eksperimental (Chesne, 1987)
12. Mengurangi penggunaan hewan induk untuk produksi embrio (Yang dan Anderson, 1992)
13. Memudahkan evaluasi pejantan dan uji performans induk (Baker dan Shea 1985)

14. Mempertahankan karakteristik yang diinginkan pada ternak (Yang et al., 2007)

Tabel 13.5. Hubungan jumlah embrio yang displitting terhadap jumlah keturunan yang lahir dan efisiensi kelahiran.

Spesies	Embrio yang di splitting	Jumlah Keturunan yang lahir	Efisiensi (%) *	Referensi
Sapi	36	27	75	Dahlen et al., 2012
Sapi	50	61	105	Saito dan Neimann, 1993
Sapi	11	12	109	Ozil, 1983
Domba	40	34	85	Vintila et al., 1995
Domba	24	21	88	Shelton, 1992
Domba	705	710	101	Vivanco et al., 1991
Domba	16	17	106	Szell dan Hudson, 1991
Domba	39	46	118	Chesne, 1987

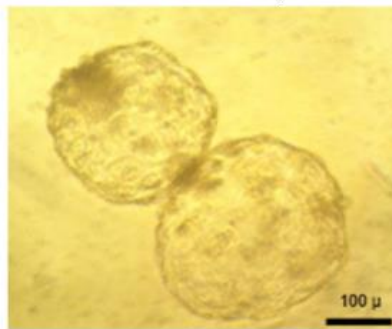
*Efisiensi (%) = umlah keturunan yang lahir / embrio yang dibelah dua

Faktor yang berperan keberhasilan splitting embrio

1. Keterampilan
2. Kualitas embrio asli (Reichenbach et al., 1998; Kawachiya et al., 2011; Noli et al., 2017)
3. Kemampuan embrio menyusun kembali dirinya sendiri dalam demi-embrio yang dihasilkan (Condic, 2014)

13.11 Rekonstruksi Embrio Setelah Splitting

Rekonstitusi embrio adalah proses pulihnya embrio setelah dilakukan splitting. Rekonstitusi embrio bisa menjadi indikator kemampuan (*ability*) demi embrio untuk menjadi keturunan setelah dipindahkan ke betina resipien (Alvarez et al., 2008). Pada jaringan dewasa, sel punca bertanggung jawab untuk memperbaiki sel yang cedera dan proses regenerasi jaringan (Kenyon dan Gerson, 2007) karena penuaan atau penyakit (Maynard et al., 2015). Dalam kasus embrio, hal serupa terjadi, melalui penggantian sel khusus yang telah hilang karena beberapa perubahan (Condic, 2014). Embrio mampu memperbaiki kerusakan padanya dan beradaptasi dengan kondisi lingkungan untuk bertahan hidup setelah pemulihan (Condic, 2014). Sel embrio pada tahap awal dapat beradaptasi baik dalam tingkat mitosis dan proses diferensiasi (Deuchar, 1976), karena adanya proses blastisitis (De Sousa et al., 2017). Selain itu, telah terbukti bahwa konglomerat sel embrio pada tahap awal perkembangan dapat menjadi organisme hidup melalui reorganisasi sel, seperti kasus pembelahan blastokista (Mitalipov et al., 2009). Sel embrio memiliki sifat yang melebihi potensi sel individu dewasa untuk rekonstitusi sel (Condic, 2014). Sel-sel yang diekstrusi atau bahkan puing-puing sel yang rusak setelah pembelahan embrio dapat mengandung sel-sel yang cukup layak untuk berkembang biak, mengatur ulang, dan menghasilkan embrio fungsional lain (Williams et al., 1984).



Gambar 13.10. Rekonstitusi in vitro dari demi-embrio setelah 12 jam kultur (Pembesaran 200 X)

Pada saat pembelahan embrio, bagian yang dihasilkan dibiakkan secara in vitro selama 2 hingga 48 jam (Reichert dan Niemann, 1994). Pada setiap demi embrio, ICM direorganisasi dan rekonstitusi blastokel segera dimulai (Daniel, 1963). Penyatuan tepi sel trofoblas selama pembelahan bertanggung jawab atas kemampuan trofoblas untuk menyusun kembali dirinya sendiri karena kelompok sel ini mengeluarkan cairan ke dalam blastosil, yang prosesnya diatur oleh gen (Watson, 2004). Hal ini memungkinkan pembentukan bola demi embrio (Daniel, 1963), menjadi sel trofoblas yang berperan untuk implantasi embrio (Wang et al., 1990). embrio jika telah kehilangan setengah dari sel-selnya akan memperbaiki lesinya, meregenerasinya untuk melanjutkan perkembangannya menjadi organisme utuh (Condic, 2014).

Tabel 13.6. Efisiensi rekonstitusi demi-embrio sapi setelah kultur in vitro selama 2-48 jam pasca-pembelahan.

No	Embrio yang di splitting	Jumlah Demi Embrio	Rekonstitusi (%) [*]	Referensi
1	21	19	90	Baker dan Shea, 1985
2	11	16	145	Ozil, 1983
3	176	268	152	Hashiyada, 2017
4	19	30	158	McEvoy dan Sreenam
5	230	408	178	Rho et al., 1998

Keterangan: *Rekonstitusi (%) = Jumlah demi-embrio / embrio yang dibelah dua.

Splitting embrio adalah teknik pembelahan embrio yang memungkinkan produksi kembar identik dalam program transfer embrio (Ozil, 1983). Pada tahun 80-an, teknik ini membutuhkan hingga enam instrumen manipulasi embrio.

Namun, seiring waktu, metodologi yang berbeda telah dikembangkan untuk menyederhanakan teknik splitting embrio (Godke, 2014). Selain itu, penggunaan alat pemotong, seperti microblade (Lopes et al., 2001) atau jarum kaca (Seike et al., 1989), telah dipelajari secara ekstensif, dengan tujuan meminimalkan kerusakan seluler pada saat pemotongan (Srike et al., 1989). Jadi, keberhasilan teknik splitting embrio tergantung pada kerusakan minimum yang dihasilkan pada embrio (Skrzyszowska et al., 2007). Pada Proses splitting embrio terjadi kerusakan/kehilangan sel 10-13% (McEvoy dan Sreenan, 1990). Metode pembelahan embrio microblade telah terbukti praktis dan dengan aplikasi di lapangan (Godke, 2014). Penerapan teknik ini telah disederhanakan dengan cara tekanan vertikal pada saat splitting embrio menggunakan microblade yang disesuaikan dengan mikromanipulator tunggal tanpa menggunakan mikropipet penahan embrio (Hashiyada, 2017). Hal yang harus diperhatikan ketika melakukan splitting embrio adalah menghindari terjadinya fiksasi embrionik dan mencegah adhesi sel pada bahan dan kultur. Metode pembelahan microblade lebih praktis dan tanpa membuat embrio mengalami stres berkepanjangan.

13.12 Kembar Buatan Identik Melalui Proses Splitting Embrio

Kembar buatan yang identik telah banyak berhasil dilakukan melalui splitting embrio. Embrio yang telah displitting dapat dibekukan dan bila didonorkan pada waktu yang berbeda akan menghasilkan kembar identik berbeda umurnya dalam satu saudara identik.



https://www.beefmagazine.com/sites/beefmagazine.com/files/Twins-JMP-IMG_6758%20copy.png



<https://static.agriculture.com/s3fs-public/image/2020/01/24/twinsncstate.jpg>



<https://www.beefcentral.com/wp-content/uploads/2021/09/Twin-calves-2.jpg>



<https://faunafacts.com/wp-content/uploads/2022/04/calf-twins-1024x682.jpg>

13.13 Penutup

1. Splitting merupakan teknologi reproduksi menggandakan embrio
2. Metode splitting terbagi menjadi dua yaitu biopsy dan biseksi
3. Metode splitting embrio paling mudah secara teknis dan efisien adalah metode biseksi
4. Splitting embrio menghasilkan embrio yang kembar identik
5. Teknologi splitting embrio bisa diterapkan pada ternak dan memiliki manfaat yang banyak
6. Teknologi splitting embrio bisa diterapkan untuk meningkatkan populasi ternak terutama ternak yang memiliki nilai ekonomis tinggi

DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez RH, Pires RML, Campanha A, Oba E. 2008. Short-term culture of bovine bisected embryos. Effects on pregnancy rates, sex ratio and birth weight of calves. *B Indústr Anim* 65(3):191-196.
- Baker RD, Shea BF. 1985. Commercial splitting of bovine embryos. *Theriogenology*. 23(1):3-12.
- Bredbacka P. 1991. Biopsy of morulae and blastocysts. *Reprod Domest Anim*. 26(2):8284.
- Chesne P, Colas G, Cognie Y, Guerin Y, Sévellec C. 1987. Lamb production using superovulation, embryo bisection, and transfer. *Theriogenology*. 27(5):751-757.
- Casser, E., Israel, S., & Boiani, M. (2019). Multiplying embryos: experimental monozygotic polyembryony in mammals and its uses. *International Journal of Developmental Biology*. 63(3-4-5), 143-155.
<https://doi.org/10.1387/ijdb.190016mb>
- Condic ML. 2012. Totipotency: what it is and what it is not. *Stem Cells Dev* 2014;23(8):796812 (61)
- Dahlen CR, DiCostanzo A, Spell AR, Lamb GC. 2012. Use of embryo transfer seven days after artificial insemination or transferring identical demi-embryos to increase twinning in beef cattle. *J Anim Sci*. 90(13):4823-4832
- Deuchar EM. 1976. Regeneration of amputated limb-buds in early rat embryos. *Development*. 35(2):345-354
- De Sousa RV, da Silva Cardoso CR, Butzke G, Dode MAN, Rumpf R, Franco MM. 2017. Biopsy of bovine embryos produced in vivo and in vitro does not affect pregnancy rates. *Theriogenology*. 90:25-31.
- De Rose EP, Wilton JW. 1991. Productivity and profitability of twin births in beef cattle. *J Anim Sci*. 69(8):3085-3093.
- Daniel Jr JC. 1963. Some kinetics of blastocyst formation as studied by the process of reconstitution. *J Exp Zool*. 154(2):231-237.

- Echternkamp SE, Gregory KE. 2002. Reproductive, growth, feedlot, and carcass traits of twin vs single births in cattle. *J Anim Sci.* 80:E64-E73.
- Escriba MJ, Valbuena D, Remohí J, Pellicer A, Simon C. New techniques on embryo manipulation. *J Reprod Immunol* 2002;55(1-2):149-161.
- Godke RA, Sansinena M, Youngs CR. 2014. Assisted reproductive technologies and embryo culture methods for farm animals. In: Pinkert CA editor. *Transgenic Animal Technology: A Laboratory handbook*. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier. 581-638.
- Hashiyada Y. 2017. The contribution of efficient production of monozygotic twins to beef cattle breeding. *J Reprod Develop.* 63(6):527-538.
- Herr, C.M., & Reed, K.C. (1991). Micromanipulation of bovine embryos for sex determination. *Theriogenology*. 35, 45–54.
- Imron M, Boediono, A, Supriatna, I. 2007. Viabilitas demi embrio sapi in vitro hasil splitting embrio segar dan beku. *JITV* 12 (2): 118-123
- Illmensee K, Levanduski M. 2010. Embryo splitting. *Middle East Fertil Soc J.*15(2):5763.
- Karl Illmensee , Mike Levanduski. 2009. Embryo splitting. *Middle East Fertility Society Journal* (2010) 15, 57–63
- Kalma, Y., Bar-El, L., Asaf-Tisser, S., Malcov, M., Reches, A., Hasson, J., Amir, H., Azem, F., & Ben-Yosef, D. (2018). Optimal timing for blastomere biopsy of 8-cell embryos for preimplantation genetic diagnosis. *Human Reproduction*. 33(1), 32–38. <https://doi.org/10.1093/humrep/dex343>
- Kawachiya S, Bodri D, Shimada N, Kato K, Takehara Y, Kato O. 2011. Blastocyst culture is associated with an elevated incidence of monozygotic twinning after single embryo transfer. *Fertil Steril.* 95(6):2140-2142
- Kenyon J, Gerson SL. 2007. The role of DNA damage repair in aging of adult stem cells. *Nucleic Acids Res.*35(22):7557-7565.
- Kippax IS, Christie WB, Rowan TG. 1991. Effects of method of splitting, stage of development and presence or absence of

- zone pellucida on foetal survival in commercial bovine embryo transfer of bisected embryos. *Theriogenology*. 35(1):25-35.
- Lopes RFF, Forell F, Oliveira ATD, Rodrigues JL. 2001. Splitting and biopsy for bovine embryo sexing under field conditions. *Theriogenology*. 56(9):1383-1392.
- Lorenzo-Torres a Raymundo Rangel-Santos. 2022. Agustín Ruíz-Flores a Demetrio Alonso Ambríz-García. Demi-embryo reconstitution, a factor to consider for the success of embryo bisection. *Mex Cienc Pecu*. 13(2): 473-487. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.5922>
- McKinnon AO, Carnevale EM, Squires EL, Carney NJ, Seidel Jr GE. 1989. Bisection of equine embryos. *Equine Vet J*. 21(Suppl 8):129-133.
- Makarevich AV, Markkula M. 2002. Apoptosis and cell proliferation potential of bovine embryos stimulated with insulin-like growth factor I during in vitro maturation and culture. *Biol Reprod*. 66(2):386-392
- Maynard S, Fang EF, Scheibye-Knudsen M, Croteau DL, Bohr VA. 2015. DNA damage, DNA repair, aging, and neurodegeneration. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 5(10):a025130.
- Mitalipov S, Wolf D. 2009. Totipotency, pluripotency and nuclear reprogramming. In: Martin U. editor. *Engineering of stem cells*. Heidelberg, Berlín, Alemania: Springer. 114:185-199.
- Mitalipov SM, Yeoman RR, Kuo HC, Wolf DP. 2002. Monozygotic twinning in rhesus monkeys by manipulation of in vitro-derived embryos. *Biol Reprod*. 66:1449-55
- McEvoy TG, Sreenan JM. 1990. Effect of embryo quality and stage of development on the survival of zona pellucida-free cattle demi-embryos. *Theriogenology*. 33(6):1245-1253.
- Matsumoto, K., Miyake, M., Utumi, K., & Iritani, A. (1987). Bisection of rat, goat and cattle blastocysts by metal blade. *Jpn J Anim Reprod*. 33, 1-5

- Noli L, Ogilvie C, Khalaf Y, Ilic D. 2017. Potential of human twin embryos generated by embryo splitting in assisted reproduction and research. *Hum Reprod.* 23(2):156165.
- Ozil JP. 1983. Production of identical twins by bisection of blastocysts in the cow. *Reproduction* .69(2):463-468.
- Omidi, M., Khalili, M.A., Halvaei, I., Montazeri, F., & Kalantar, S.M. (2020). Quality of blastocysts created by embryo splitting: a time-lapse monitoring and chromosomal aneuploidy study. *Cell Journal.* 22(3), 367-374. <https://doi.org/10.22074/cellj.2020.6717>
- Papaioannou VE, Mkandawire J, Biggers JD. 1989. Development and phenotypic variability of genetically identical half mouse embryos. *Development*.106:817-27.
- Praharani L. 2019. Factors affecting twinning and the impacts of twinning in cattle. *WARTAZOA Indones Bull Anim Vet Sci* 29(1):13-24.
- Ramón UJ, Meza VV, Deneb CP, Domínguez RA, Quintal FJ. 2012. Bisection and embryo transfer in hair sheep. *Biotechnology Summit. Mérida, Yucatán, México*1221(3):138-142.
- Reichelt B, Niemann H. 1998. Generation of identical twin piglets following bisection of embryos at the morula and blastocyst stage. *Reproduction.* 1998. 100(1):163-172.
- Rho GJ, Johnson WH, Betteridge KJ. 1998. Cellular composition and viability of demi-and quarter-embryos made from bisected bovine morulae and blastocysts produced in vitro. *Theriogenology*.50(6):885-895.
- Reichenbach HD, Schwartz J, Wolf E, Brem G. 1998. Effects of embryo developmental stage, quality and short-term culture on the efficiency of bovine embryo splitting. *Theriogenology.* 1(49):224.
- Reichelt B, Niemann H. 1994. Generation of identical twin piglets following bisection of embryos at the morula and blastocyst stage. *Reproduction.* 100(1):163-172.
- Rho GJ, Johnson WH, Betteridge KJ. 1998. Cellular composition and viability of demi-and quarter-embryos made from bisected bovine morulae and blastocysts produced in vitro. *Theriogenology*.50(6):885-895.

- Rahbaran, M., Razeghian, E., Maashi, M.S., Jalil, A.T., Widjaja, G., Thangavelu, L., Kuznetsova, M.Y., Nasirmoghadas, P., Heidari, F., Marofi, F., & Jarahian, M. (2021). Review article: Cloning and embryo splitting in mammals: brief history, methods, and achievements. *Hindawi Stem Cells International*. 2021, 2347506. <https://doi.org/10.1155/2021/2347506>
- Rastogi, P., & Kakkar, A. (2020). Ethical issues in cloning. *Journal of Critical Reviews*. 7(10), 996–1000.
- Saito, S., & Niemann, H. (1993). In vitro and in vivo survival of bovine demi-embryos following simplified bisection and transfer of one or two halves per recipient. *J Reprod Dev*. 39, 251–258.
- Skrzyszowska, M., & Smorag, Z. (1989). Cell loss in bisected mouse, sheep and cow embryos. *Theriogenology*. 32, 115–122.
- Skrzyszowska, M., Smorag, Z., & Katska, L. (1997). Demi-embryo production from hatching of zona-drilled bovine and rabbit blastocysts. *Theriogenology*. 48, 551–557.
- Széll A, Hudson RHH. Factors affecting the survival of bisected sheep embryos in vivo. *Theriogenology* 1991;36(3):379-387.
- Shelton JN, Szell A. 1988. Survival of sheep demi-embryos in vivo and in vitro. *Theriogenology*.30(5):855-863.
- Rahbaran, M., Razeghian, E., Maashi, M.S., Jalil, A.T., Widjaja, G., Thangavelu, L., Kuznetsova, M.Y., Nasirmoghadas, P., Heidari, F., Marofi, F., & Jarahian, M. (2021). Review article: Cloning and embryo splitting in mammals: brief history, methods, and achievements. *Hindawi Stem Cells International*. 2021, 2347506. <https://doi.org/10.1155/2021/2347506>
- Rastogi, P., & Kakkar, A. (2020). Ethical issues in cloning. *Journal of Critical Reviews*. 7(10), 996–1000.
- Saito, S., & Niemann, H. (1993). In vitro and in vivo survival of bovine demi-embryos following simplified bisection and transfer of one or two halves per recipient. *J Reprod Dev*. 39, 251–258.

- Skrzyszowska, M., & Smorag, Z. (1989). Cell loss in bisected mouse, sheep and cow embryos. *Theriogenology*. 32, 115-122.
- Saito S, Niemann H. 1993. In vitro and in vivo survival of bovine demi-embryos following simplified bisection and transfer of one or two halves per recipient. *J Reprod Develop*.39(3):251-258.
- Senger PL. 2005. Pathways to pregnancy and parturition. Pullman, Washington (US): Current Conceptions, Inc
- Skrzyszowska M, Smorag Z, Katska L. 1997. Demi-embryo production from hatching of zonadrilled bovine and rabbit blastocysts. *Theriogenology*.48(4):551-557
- Shelton JN. 1992. Factors affecting viability of fresh and frozen-thawed sheep demi-embryos. *Theriogenology*.37(3):713-721.
- Seike N, Saeki K, Utaka K, Sakai M, Takakura R, Nagao Y, et al. 1989. Production of bovine identical twins via transfer of demi-embryos without zonae pellucidae. *Theriogenology*. 32(2):211-220.
- Tao, T., Reichelt, B., & Niemann, H. (1995). Ratio of inner cell mass and trophoblastic cells in demiand intact pig embryos. *J Reprod Fertil*. 104: 251-258.
- Tarkowski AK, Wroblewska J. 1967. Development of blastomeres of mouse eggs isolated at the 4- and 8-cell stage. *J Embryol Exp Morphol* . 8:155-8
- Tang HH, Tsai YC, Kuo CT. Embryo splitting can increase the quantity but not the quality of blastocysts. *Taiwan J Obstet Gynecol* 2012;51(2):236-239.
- Tsunoda Y, Tokunaga T, Sugie T, Katsumata M. 1985. Production of monozygotic twins following the transfer of bisected embryos in the goats. *Theriogenology*.24(3):337-343.
- Tsunoda Y, McLaren A. 1983. Effect of various procedures on the viability of mouse embryos containing half the normal number of blastomeres. *J Reprod Fertil*. 69:315-22
- Vivanco HW, Rangel SR, Lynch P, Rhodes A. 1991. Large scale commercial application of bisection of sheep embryos. *Theriogenology*.35(1):292.

- Voelkel, S.A., Viker, S.D., Johnson, C.A., Hill, K.G., Humes, P.E., & Godke, R.A. (1985). Multiple embryo-transplant offspring produced from quartering a bovine embryo at the morula stage. *The Veterinary Record*. 117(20), 528-530.
- Williams TJ, Elsden RP, Seidel Jr GE. 1984. Pregnancy rates with bisected bovine embryos. *Theriogenology*.22(5):521-531.
- Watson AJ, Natale DR, Barcroft LC. 2004. Molecular regulation of blastocyst formation. *Anim Reprod Sci*.82:583-592.
- Wakchaure R, Ganguly S. 2016. Twinning in cattle: A Review. *ARC J Gynecol Obstet* .1(4):13
- Wang ZJ, Trounson A, Dziadek M. 1990. Developmental capacity of mechanically bisected mouse morulae and blastocysts. *Reprod Fertil Dev*.2(6):683-691.
- Willadsen, S.M., Lehn-Jensen, H., Fehilly, C.B., & Newcomb, R. (1981). The production of monozygotic twins of preselected parentage by micromanipulation of non-surgically collected cow embryos. *Theriogenology*. 15, 23-29.
- Williams, T.J., & Moore, L. (1988). Quick-splitting of bovine embryos. *Theriogenology*. 29: 477-484.
- Yang X, Tian XC, Kubota C, Page R, Xu J, Cibelli J, et al. 2007. Risk assessment of meat and milk from cloned animals. *Nat Biotechnol*.25(1):77-83
- Yang X, Anderson GB. 1992. Micromanipulation of mammalian embryos: principles, progress and future possibilities. *Theriogenology*.38(2):315-335.
- Yang, X.Z., & Foote, R.H. (1987). Production of identical twin rabbits by micromanipulation of embryos. *Biol Reprod*. 37, 1007-1014.

BIODATA PENULIS

Muliana GH, S.Pd., M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Biologi
Fakultas FMIPA UNM

Muliana GH S. Pd., M. Pd, lahir di Ujung Pandang, 6 Oktober 1991. Pernah belajar di Jurusan Biologi program studi pendidikan biologi di UNM, lulus tahun 2013. Setahun kemudian melanjutkan studi magister pendidikan biologi di universitas yang sama dan lulus tahun 2016. Sehari-hari aktif bekerja sebagai dosen tetap di UNM, sebagai ibu rumah tangga, juga aktif melakukan penelitian-penelitian dan menulis. Tulisan penulis dalam bentuk buku yang telah terbit tahun 2022 yaitu buku "Tentang Kaktus", "Tentang Aglaonema", BC "Kewirausahaan Biologi" juga BC "Anatomi Tumbuhan".

BIODATA PENULIS



Helsa Rahmatika, S.Pd., M.Pd.

Dosen Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang

Penulis lahir di Kota Payakumbuh, tanggal 31 Juli 1995. Menyelesaikan studi S1 di Prodi Pendidikan Biologi Universitas Negeri Padang (UNP) tahun 2018 dan menyelesaikan S2 pada Prodi Pendidikan Biologi Universitas Negeri Malang (UM) tahun 2020. Saat ini bekerja sebagai dosen pada program studi Pendidikan Biologi, Universitas Negeri Padang. Penulis mulai aktif dalam melakukan riset dan publikasi ilmiah dalam bentuk jurnal baik nasional maupun internasional. Selain itu penulis mulai aktif menulis buku, baik buku chapter, buku referensi, maupun buku ajar.

BIODATA PENULIS**Suharno Zen, M.Sc.**

Dosen Universitas Muhammadiyah Metro

Penulis lahir di Margorejo, Kota Metro, Lampung, 23 Februari 1982. Mengajar di Universitas Muhammadiyah Metro pada mata kuliah Zoologi Avertebrata, Zoologi Vertebrata dan Parasitologi. Buku ajar yang sudah diterbitkan : Biologi umum : bahan pembelajaran berbasis saintific approach dan Zoologi Avertebrata.

BIODATA PENULIS



Vivin Kusumaningrum

Tenaga Pengajar MTs Nurul Huda Badean Blimbingsari
Banyuwangi

Penulis lahir di Banyuwangi pada tanggal 13 April 1984. Penulis merupakan Guru Mata Pelajaran IPA dan Kepala Laboratorium IPA di MTs Nurul Huda Badean Blimbingsari Banyuwangi. Penulis telah memiliki Serdik Guru IPA sejak 2011 dan Sertifikat Kepala Laboratorium sejak 2018. Penulis juga telah menyelesaikan pendidikan S2 Magister Pendidikan IPA di Universitas Jember sejak 2022. Telah menulis beberapa Judul Buku Antologi dan Buku Biomedik dasar, Anatomi dan Fisiologi dan Gangguan Kardiovaskulair.

BIODATA PENULIS**Rifka Almunawarah, S.Pd.**

Mahasiswa Program Pasca Sarjana Universitas Negeri Makassar
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Penulis lahir di Barru tanggal 29 November 1998. Penulis adalah Mahasiswa Program Pasca Sarjana Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar pada tahun 2022. Sehari-hari aktif bekerja sebagai pengajar bimbingan belajar Ruang Guru, dan sebagai asisten dosen sekaligus admin pada Jurnal Bionature Jurusan Biologi FMIPA UNM.

BIODATA PENULIS



Rezki, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas Sains Dan Teknologi

Penulis lahir di Enrekang Tanggal 16 Oktober 1993. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sipatokkong Mambo. Menyelesaikan pendidikan S1 pada jurusan Biologi Sains di Universitas Negeri Makassar dan melanjutkan S2 pada Jurusan Biosains Hewan di IPB University. Penulis menekuni bidang Biosains Hewan.

BIODATA PENULIS

Dr. Safrida, S.Pd., M.Si, AIFO.
Dosen Universitas Syiah Kuala

Penulis lahir di Aceh Besar pada Tanggal 5 Agustus 1980. Memulai Karier tahun 2005 sebagai dosen tetap pada program studi Pendidikan Biologi Universitas Syiah Kuala, dan saat ini sebagai Koordinator Program Studi Magister pendidikan Biologi (MPBIO) Universitas Syiah Kuala mulai Tahun 2022- sekarang. Salah satu mata kuliah yang diampu Biologi Perkembangan. Alhamdulillah berperan aktif di berbagai kegiatan hibah penelitian dan pengabdian kepada Masyarakat. Menulis Buku Fisiologi Hewan yang merupakan salah satu buku yang lolos Hibah Buku Ajar Nasional.

BIODATA PENULIS



Swastika Oktavia, S.Si., M.Sc.

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas Sains, Farmasi dan Kesehatan
Universitas Mathla'ul Anwar Banten

Penulis lahir di Purbalingga pada tanggal 28 Oktober 1989. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi, Fakultas Sains, Farmasi dan Kesehatan, Universitas Mathla'ul Anwar Banten sejak tahun 2015. Menyelesaikan pendidikan S1 di Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman dan melanjutkan pendidikan pada Program Studi Magister Biologi di Universitas Gadjah Mada. Penulis menekuni bidang zoologi khususnya struktur dan perkembangan serta fisiologi. Penulis aktif dalam kegiatan Tri Dharma Perguruan Tinggi terutama di bidang penelitian dengan sering mendapatkan hibah penelitian dan luarannya banyak dituangkan pada berbagai artikel yang dipublikasikan pada jurnal ilmiah baik skala nasional maupun internasional. Penulis telah beberapa kali berpartisipasi dalam penulisan buku kolaborasi dengan judul “Anatomi Fisiologi” yang terbit pada tahun 2022 dan “Struktur dan Perkembangan Hewan” yang terbit pada tahun 2023.

BIODATA PENULIS



Ina Nurtanti, S. Pt., M. Pt.

Dosen Program Studi Produksi Ternak
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah
Karanganyar

Penulis lahir di Ngawi, Jawa Timur 20 Maret 1993. Penulis merupakan dosen tetap di Program Studi Produksi Ternak Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Karanganyar. Penulis menyelesaikan studi S1 dan S2 program studi Peternakan di Universitas Sebelas Maret Surakarta. Penulis menekuni bidang menulis dengan karya buku praktis yang berjudul Budidaya Broiler Milenial Berbasis Closed House pada tahun 2019, kemudian menulis pada beberapa buku chapter dan majalah Poultry Indonesia. Moto dalam hidup penulis adalah “Sukses itu bukan dilihat di mana kita bekerja, tapi hasil dari yang kita kerjakan”.

BIODATA PENULIS



Deswidya S Hutaaruk, S.Pd., M.Si.

Dosen Program Studi Analis Kesehatan
Fakultas Kesehatan Universitas Efarina

Deswidya S Hutaaruk, lahir di desa Hutanamora, Kecamatan Pangururan, Kabupaten Samosir pada tanggal 15 Desember 1989. Memulai pendidikan di SD Negeri 1 Pangururan, lalu melanjut ke SMP Negeri 1 Pangururan dan menyelesaikan pendidikan wajib 9 tahun di SMA Negeri 1 Pangururan. Setelah tamat SMA, melanjutkan studi di Jurusan Pendidikan Biologi di Universitas Negeri Medan tahun 2017 dan lulus tahun 2011. Pada tahun 2012, melanjutkan Program Pascasarjana (S2) di Universitas Sumatera Utara dengan mengambil Program Studi Biologi (Mikrobiologi), lulus tahun 2014.

Sejak tahun 2015 diangkat sebagai dosen tetap di Program Studi D III Analis Kesehatan, Fakultas Kesehatan Universitas Efarina sampai dengan saat ini. Pada tahun 2018 - Maret 2022 penulis di percayakan memegang posisi Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Efarina. Penulis telah beberapa kali memenangkan Hibah Penelitian Dosen Pemula baik sebagai ketua maupun anggota dan hingga kini telah memiliki beberapa publikasi baik di tingkat Lokal, Nasional maupun Internasional.

BIODATA PENULIS

Dewi Rulia Br Sitepu, S.Pd., M.Si.

Dosen Program Studi Pendidikan Matematika
STKIP Budidaya

Penulis lahir di Binjai tanggal 29 Oktober 1989. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Matematika, STKIP Budidaya. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Biologi di Universitas Negeri Medan dan melanjutkan S2 pada Jurusan Biologi di Universitas Sumatera Utara. Penulis menekuni bidang riset dan menulis.

BIODATA PENULIS



Khairina Afni, S.Pd., M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Matematika
STKIP Budidaya Binjai

Penulis lahir di Stabat, pada tanggal 15 Februari 1989. Penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Matematika, STKIP Budidaya Binjai sejak tahun 2015. Penulis memulai studi pendidikan S1 pada tahun 2007 di Jurusan Pendidikan Biologi Universitas Negeri Medan dan lulus pada tahun 2011. Kemudian menyelesaikan pendidikan S2 pada tahun 2012 di Jurusan Pendidikan Biologi Universitas Negeri Medan dan lulus pada tahun 2014. Penulis pernah menulis buku ajar dengan judul “Pedoman Penulisan Skripsi” pada tahun 2021 dan “Model Pembelajaran Inovasi” pada tahun 2022. Selain itu juga aktif melaksanakan riset dan menulis artikel ilmiah yang telah dipublikasikan baik tingkat lokal, nasional maupun internasional.

BIODATA PENULIS**Junaedi, S.Pt., M.Si**

Dosen program Studi Peternakan
Fakultas Pertanian Perikanan Peternakan
Universitas Sembilanbelas November Kolaka

Penulis lahir di Jeneponto, 13 Juni 1989. Penulis adalah Dosen program Studi Peternakan Fakultas Pertanian Perikanan Peternakan, Universitas Sembilanbelas November Kolaka. Tahun 1996-2002 Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SDI 121 Balangloe Balang. Tahun 2002-2005 Penulis menempuh pendidikan Sekolah Menengah pertama di SMP Negeri 1 Tamalatea. Tahun 2005-2008 Penulis menempuh pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Tamalatea. Tahun 2008-2012 Penulis menempuh pendidikan Program Sarjana, Fakultas Peternakan, Universitas Hasanuddin. Tahun 2013-2015 Penulis menempuh pendidikan Magister, Program Studi Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan, di Institut Pertanian Bogor. Tahun 2022 Penulis menempuh pendidikan Doktoral di Ilmu Ternak, Universitas Brawiyaya. Tahun 2011-2012 Penulis bekerja sebagai supervisor breeding di PT Satwa Indo Perkasa, Tbk. Tahun 2012 penulis bekerja sebagai Supervisor hatchery di PT Japfa Comfeed, Tbk. Tahun 2015-2016 Penulis mengajar di Universitas Muhammadiyah Sinjai. Tahun 2016 sampai Sekarang Penulis sebagai Dosen Tetap PNS di Universitas Sembilanbelas November Kolaka. Aktivitas Penulis selain sebagai pengajar, juga aktif melakukan penelitian dan publikasi journal ilmiah