

Oogenesis Dan Spermatogenesis Pada Mamalia

Yovita Harmiatun

Bagian Biologi Fakultas Kedokteran Universitas Kristen Indonesia

Abstrak

Oogenesis adalah proses pembentukan ovum dari sel benih dalam ovarium sedangkan spermatogenesis adalah proses pembentukan spermatozoon dalam testis. Pada mamalia terdapat perbedaan utama dalam cara menghasilkan ovum dan spermatozoon melalui proses oogenesis dan spermatogenesis. Pada perempuan, oogonia hanya berproliferasi pada fetus, kemudian memasuki meiosis sebelum lahir, dan meiosis tersebut berhenti pada profase meiotik pertama sebagai oosit, dan dapat tetap dalam kondisi seperti itu sampai usia 50 tahun. Oosit individual matang dari stok tersebut diovasulasikan dalam selang waktu tertentu, umumnya satu ovum setiap satu siklus, dimulai pada saat pubertas. Pada laki-laki, sangat berbeda, meiosis dan spermatogenesis dimulai pada saat pubertas dan kemudian berlanjut secara kontinu di dalam lapisan epitelial tubulus seminiferus testis. Sel benih yang belum matang atau spermatogonia, yang terletak di sebelah luar dan berdekatan dengan lamina basalis tubulus seminiferus, berproliferasi kontinu melalui mitosis. Beberapa sel tersebut berhenti berproliferasi, dan kemudian berdiferensiasi menjadi spermatosit primer. Sel tersebut berada pada stadium profase meiotik pertama, kemudian melanjutkan pembelahan pertama meiosis, dan menghasilkan dua spermatosit sekunder. Dua spermatosit sekunder kemudian memasuki pembelahan meiotik II, dan menghasilkan empat spermatid. Keempat spermatid ini kemudian mengalami diferensiasi morfologis menjadi sperma yang kemudian masuk ke lumen tubulus seminiferus. Persamaan di antara oogenesis dan spermatogenesis adalah keduanya melibatkan mitosis dan meiosis.

Kata-kata kunci: gamet; pembelahan sel: mitosis; meiosis.

Oogenesis and Spermatogenesis in Mammal

Abstract

Oogenesis is a formation process of female gametes from the female's germ cell in the ovary, whereas spermatogenesis is a formation process of male gametes from the male's germ cell in the testis. There is a major difference in the way of mammal producing ovum and spermatozoon. In the human females, the immature germ cells, oogonia proliferate only in the fetus, beginning meiosis before birth. In the first meiotic prophase they become oocytes, which they may remain for up to 50 years. Individual oocytes mature from this strictly limited stock and are ovulated at intervals, generally one at a time or a cycle, beginning at puberty. In the contrary, the human males' meiosis and spermatogenesis do not begin in the testes until puberty and then go on continuously in the epithelial lining of seminiferous tubules. The immature germ cells, spermatogonia, are located around the outer edge of these tubes next to the basal lamina, where they continuously proliferate by mitosis. Some of these cells stop proliferating and begin to differentiate into primary spermatocytes. These cells begin the first meiotic prophase, and then proceed with the first division of meiosis to produce two secondary spermatocytes. Then the two secondary spermatocytes proceed through the second meiotic division to produce four spermatids. Finally, the spermatids undergo the morphological differentiation into sperm which escape into the lumen of seminiferous tubule. The similarities between oogenesis and spermatogenesis are that both have mitosis and meiosis.

Key words: gametes; cell division; mitosis; meiosis

Pendahuluan

Oogenesis adalah proses pembentukan ovum atau gamet perempuan dari sel benih yang belum matang (*immature germ cells*) di dalam ovarium. Spermatogenesis adalah proses pembentukan spermatozoon atau gamet laki-laki dari sel benih yang belum matang (*immature germ cells*) laki-laki di dalam testis.¹⁻³

Pada hewan mamalia, termasuk manusia, baik oogenesis maupun spermatogenesis, merupakan proses penting yang mutlak diperlukan oleh setiap individu dalam reproduksi. Kedua jenis gamet tersebut diperlukan dalam mengembangkan keturunan melalui proses fertilisasi atau konsepsi. Bila ovum dibuahi oleh spermatozoon, maka terbentuk zigot, yang kemudian membelah diri berulang kali melalui proses mitosis, dan berkembang menjadi embrio atau manusia baru.^{1,2}

Gamet, baik laki-laki maupun perempuan adalah haploid, berasal dari *immature germ cell* yang diploid. Gamet, dalam proses pembentukannya harus menjalani pembelahan sel yang khusus. Hal itu menunjukkan bahwa gamet dibentuk melalui proses pembelahan nukleus yang khusus, sehingga komplemen kromosom tinggal separuh. Jenis pembelahan sel itu disebut meiosis, berasal dari bahasa Yunani *meioun* yang berarti pengurangan. Berbeda dengan mitosis yang berasal dari bahasa Yunani *mitos* yang berarti benang. Istilah tersebut merujuk pada bentuk kromosom yang seperti benang, yaitu pada saat kromosom berkondensasi selama pembelahan nukleus (suatu proses yang terjadi pada pembelahan meiotik dan pembelahan mitotik). Pembelahan meiosis berfungsi untuk mereduksi jumlah kromosom *germ cells*, sehingga jumlah kromosom kedua jenis gamet tersebut menjadi tinggal separuh. Reduksi kromosom tersebut mutlak perlu, agar bila ovum dibuahi oleh sperma, terbentuk zigot yang diploid, dan bukan tetraploid. Oogenesis dan spermatogenesis melibatkan meiosis, namun meiosis pada kedua gamet tersebut mempunyai perbedaan waktu. Meiosis pada oogenesis membutuhkan waktu tahunan, sedangkan spermatogenesis hanya bulanan. Dalam

diferensiasinya, keduanya mempunyai perbedaan yang sangat tajam, oogenesis menghasilkan ovum dengan bentuk sel biasa, bulat, pasif, sedangkan spermatogenesis menghasilkan spermatozoa dengan bentuk khas berekor panjang dan motil.^{1,2}

Dalam makalah ini akan dibahas mengenai oogenesis dan spermatogenesis, baik persamaan maupun perbedaannya termasuk proses yang terjadi selama pembentukan kedua jenis gamet tersebut.

Mitosis

Semua organisme yang bereproduksi secara seksual, merupakan hasil perkembangan satu sel tunggal, yaitu zigot, yang bersifat diploid. Zigot dihasilkan oleh persatuan gamet jantan dan gamet betina; pada manusia spermatozoon dan telur. Proses persatuan sperma dan telur disebut fertilisasi.^{1,2,4,5} Setelah fertilisasi, zigot yang terbentuk segera mengadakan pembelahan mitosis berulang kali, dan menghasilkan sel anak diploid. Selanjutnya terjadi perkembangan dan diferensiasi untuk membentuk berbagai jaringan dan organ tubuh. Jadi sel tubuh mamalia disusun oleh sel somatik diploid yang mengandung jumlah kromosom diploid. Kromosom tersebut berpasangan, satu berasal dari ayah dan satu berasal dari ibu. Kedua anggota setiap pasangan serupa tetapi tidak identik, hal itu disebut homolog.^{1,2}

Kontinuitas perangkat kromosom diploid sel dipertahankan oleh proses mitosis. Mitosis terjadi pada sel somatik dan *immature germ cell*.^{2,6} Mitosis terdiri atas empat stadium yaitu: profase, metafase, anafase, dan telofase. Pada saat mitosis nukleus mengalami reorganisasi. Pada sel yang mengalami mitosis, setiap sel anak yang dihasilkan, menerima jumlah dan jenis kromosom yang persis sama dengan sel induk, sebab replikasi DNA (bahan penyusun utama kromosom) berlangsung secara semikonservatif.¹ Setiap kromosom diduplikasikan melalui replikasi DNA pada stadium interfase, sebelum mitosis dimulai. Pada interfase dan awal profase kromosom tampak seperti benang memanjang dan langsing. Pada akhir profase kromosom menggulung, memendek, membentuk kemasam nukleoprotein berbentuk batang yang

kompak. Pada metafase terbentuk spindle di antara dua sentriol, dan kromosom berderet pada bidang ekuatorial, dan setiap kinetokor (kompleks protein yang berasosiasi dengan sentromer) kromosom berikatan dengan spindle. Pada saat itu kromosom membentuk pasangan kromatid. Pada anafase setiap anggauta pasangan kromatid memisahkan diri ke arah kutub yang berlawanan, menjadi dua kromosom anak. Selanjutnya pada telofase kromosom anak menyebar pada kutub masing-masing, dan terbentuklah dua nuklei anak. Sementara itu materi sitoplasma terbagi dua, dan terbentuklah dua sel anak dengan jumlah kromosom yang sama (Gambar 1B).^{1,2}

Meiosis

Immature germ cells (oogonium ataupun spermatogonium) setelah berproliferasi melalui proses mitosis selama satu periode kemudian berdiferensiasi menjadi oosit primer atau spermatosit primer, dan selanjutnya memasuki pembelahan meiosis. Meiosis dibagi menjadi dua tahap yaitu pembelahan I meiosis (pembelahan mitotik meiosis) dan pembelahan II meiosis.

Pembelahan I meiosis

Perangkat kromosom setiap sel somatik manusia terdiri atas 22 pasang kromosom autosom dan sepasang kromosom seks. Untuk setiap pasang kromosom autosom, satu diturunkan dari ayah dan satu dari ibu. Dua anggauta masing-masing pasangan tersebut sangat serupa tetapi tidak identik dalam hal *sequence* DNA, yang disebut homolog.^{1,2,7-9}

Sesudah kromosom diduplikasikan melalui replikasi DNA yang berlangsung secara semikonservatif, dua kopi kembar hasil replikasi mula-mula tetap terangkai erat seturut panjang kromosom yang disebut *sister chromatids*. Pada pembelahan sel mitotik meiosis, *sister chromatids* berbaris pada bidang ekuator spindle, dan kinetokor melekat pada mikrotubulus spindle. *Sister chromatids* kemudian terpisah sempurna pada anafase, menjadi kromosom individual.^{1,2,7-9} Dengan cara seperti itu setiap sel anak yang

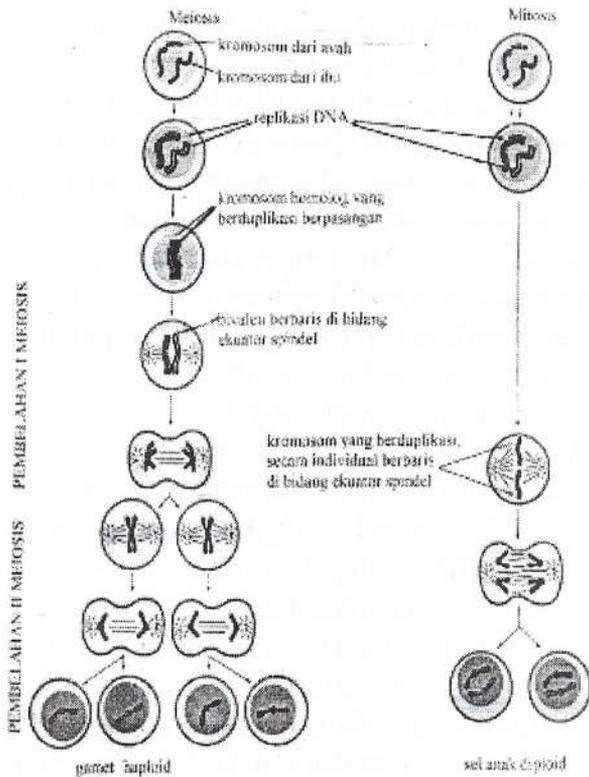
dihasilkan oleh pembelahan sel mitotik meiosis mewarisi satu kopi kromosom dari masing-masing kromosom ayah dan ibu. Karena itu komposisi genetik sel anak tidak berbeda dengan sel induknya.

Berbeda dengan gamet haploid yang diproduksi dari sel diploid melalui meiosis (akhir tahap pembelahan II meiosis), yang hanya mengandung separuh jumlah kromosom sel asal dari setiap pasangan kromosom homolognya, jadi hanya mendapatkan salah satu kopi gen dari ayah atau dari ibu saja, tidak keduanya. Kopi dari ayah dan kopi dari ibu saling mengenali. Pada banyak organisme, asosiasi awal proses pembentukan pasangan diperantarai oleh interaksi pasangan basa DNA di sepanjang kromosom.^{2,7-9}

Sebelum membentuk pasangan homolog, setiap DNA kromosom di dalam sel diploid bereplikasi, menghasilkan dua *sister chromatids*, seperti pada pembelahan sel mitotik. Sesaat setelah replikasi DNA lengkap, barulah tanda khusus meiosis muncul. Kromosom yang telah berduplikasi berpasangan dengan homolognya yang juga sudah mengalami duplikasi, membentuk struktur bivalen, yang mengandung empat kromatid. *Pairing* terjadi selama profase meiotik, yang dapat berlangsung mulai dari beberapa hari sampai berpuluh tahun. Pada saat *pairing* terjadi proses *crossing over*, sehingga memungkinkan terjadinya rekombinasi genetik. Fragmen kromatid dari ibu, dapat bertukar tempat dengan fragmen homolog dari ayah yang sesuai. Pada metafase, semua bivalent berderet di ekuator spindle, dan pada anafase, dua kromosom homolog yang berduplikasi, (masing-masing mengandung dua *sister chromatids*), memisahkan diri, dan masing-masing bergerak ke arah kutub spindle yang berlawanan, dan sel membelah diri menjadi dua sel anak. Proses ini disebut pembelahan I meiosis (Gambar 1A).^{2,7-9}

Dua sel anak hasil pembelahan I meiosis tersebut di atas mengandung sejumlah kromosom haploid, tetapi mengandung jumlah DNA diploid. Sel anak tersebut berbeda dengan sel diploid sel somatik dalam dua hal: pertama dua kopi DNA tiap kromosom adalah derivat salah satu dari dua kromosom homolog sel asal (kecuali sedikit segmen

yang telah mengadakan rekombinasi). Kedua, dua kopi DNA tersebut diturunkan sebagai *sister chromatids* yang bergabung (Gambar 1A).



Gambar 1. Perbandingan antara pembelahan sel meiosis (A) dan mitosis (B). Untuk mempermudah pemahaman, di sini hanya ditunjukkan sepasang kromosom homolog. Pada gambar 1A, setiap sel diploid yang memasuki meiosis, sesudah replikasi DNA, mengalami dua pembelahan nukleus dan dua pembelahan sel agar supaya menghasilkan gamet haploid. Sedangkan pada gambar 1B, setiap sel diploid yang memasuki mitosis, sesudah replikasi DNA, kemudian mengalami satu kali pembelahan nukleus dan satu kali pembelahan sel, untuk menghasilkan dua sel anak diploid

Pembelahan II meiosis

Pembentukan nuklei gamet aktual (ovum maupun spermatozoa) dihasilkan melalui pembelahan sel kedua, yaitu pembelahan II meiosis, tanpa didahului replikasi DNA. Kromosom yang berduplikasi berderet pada spindle II, diikuti oleh pemisahan *sister chromatids* dan menghasilkan sel dengan kandungan DNA haploid, sehingga meiosis terdiri atas fase tunggal replikasi DNA yang diikuti oleh dua pembelahan sel yang menghasilkan empat sel haploid.^{9,10} Perbedaan meiosis dan mitosis ditunjukkan pada Gambar 1A

dan B. Dalam proses meiosis dapat terjadi kegagalan pemisahan kromosom untuk menjadi empat sel haploid, fenomena itu disebut *nondisjunction* atau gagal pisah.^{1,2,8,11}

Dalam pembelahan meiotik abnormal beberapa sel haploid yang dihasilkan kekurangan kromosom, sementara sel anak yang lain mendapatkan kelebihan satu kopi kromosom. Gamet abnormal tersebut bila dibuahi akan membentuk embrio abnormal, yang kebanyakan mati. Beberapa di antaranya lahir dengan selamat, misalnya bayi sindroma Down, yang mempunyai kelebihan satu kopi kromosom nomor 21, yang dihasilkan oleh peristiwa *nondisjunction* selama pembelahan meiotik I dan II. Mayoritas kesalahan segregasi tersebut terjadi selama meiosis pada perempuan, dan jumlah kesalahan meningkat sejalan dengan bertambahnya umur. Frekwensi kesalahan pemisahan pada oosit manusia cukup tinggi (sekitar 10%), dan hal itu diduga sebagai penyebab tingginya aborsi spontan pada awal kehamilan.^{1,2,12,13}

Oogenesis

Sel benih primordial (*primordial germ cells*) pada perempuan disebut gonosit, ditemukan pada dinding *yolk sac* embrio berumur 20 hari. Pada minggu kelima gonosit bermigrasi ke jaringan gonad (*gonadal ridges*). Setelah mengalami mitosis berulang kali kemudian berkembang menjadi oogonium di dalam ovarium. Setiap oogonium kemudian diliputi oleh jaringan sel folikel, membentuk folikel primer. Oogonia berproliferasi dengan cara mitosis selama satu periode sebelum berdiferensiasi menjadi oosit primer. Pada manusia oosit primer tersebut dibentuk pada akhir bulan ketiga perkembangan prenatal, oogonium yang telah menjalani mitosis satu periode kemudian berdiferensiasi menjadi oosit I dan segera memasuki pembelahan meiosis I. Proses meiosis I (sampai pada stadium diplotonema profase), menunda penyelesaiannya, namun sambil terus bertumbuh, dan proses tersebut baru diteruskan kembali pada saat individu tersebut sudah mengalami pubertas (pematangan seksual), pada manusia sekitar umur 12 tahun.^{2,6,12-14}

Jumlah oosit I (telur dalam perkembangan) pada bayi yang baru lahir sekitar satu juta, tetapi kebanyakan oosit tersebut mengalami degenerasi. Pada saat anak perempuan mencapai usia 7 tahun, oosit tinggal sekitar 300.000 buah. Oosit kemudian berdiferensiasi, mengalami pematangan menjadi ovum, namun dari sejumlah 300.000 buah itu, hanya sekitar 400 oosit yang mencapai pematangan menjadi ovum. Diferensiasi tersebut meliputi suatu seri perubahan yang waktunya disesuaikan dengan tahap-tahap meiosis, yaitu pembelahan sel yang sangat khusus. Pematangan dimulai saat wanita mengalami pubertas, oosit secara periodik meneruskan meiosis, sehingga setiap siklus dihasilkan satu ovum. Ovum atau gamet hasil oogenesis mengandung semua materi yang diperlukan untuk metabolisme, inisiasi, dan perkembangan awal embrio. Oleh karena itu oogenesis selain memproduksi nukleus haploid juga memproduksi sejumlah simpanan protein dan enzim sitoplasma, mRNA, organel, dan substrat metabolik.^{2,6,15} Proses pematangan oosit tersebut berjalan dalam rentang waktu antara umur 12 sampai 50 tahun.^{2,5,6,14} Hal itu menjelaskan terjadinya peningkatan aberasi kromosom sejalan dengan bertambahnya umur ibu.^{1,2,8}

Pada saat individu sudah mengalami pematangan seksual, di bawah pengaruh hormonal, oosit I mulai melanjutkan penyelesaian pembelahan I meiosis.

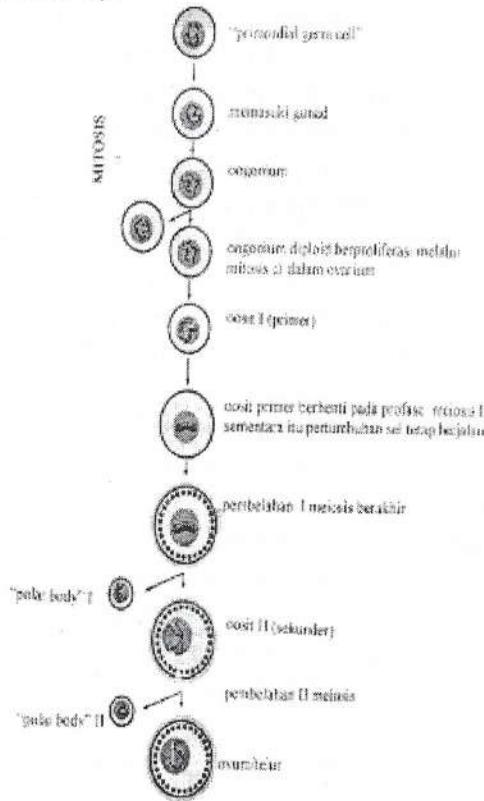
Manusia mengalami ovulasi periodik yang bervariasi. Meskipun perempuan mempunyai ovulasi siklik (rata-rata setiap satu siklus 29,5 hari), namun fisiologi reproduktifnya sama dengan primata yang lain. Periodisitas primata dalam pematangan dan pembebasan ovum disebut siklus menstruasi, yang ditandai dengan keluarnya darah dan jaringan endotel uterus pada interval bulanan.^{5,6}

Siklus menstruasi menggambarkan integrasi tiga siklus yang sangat berbeda (1) siklus ovarium yang berfungsi untuk mematangkan dan membebaskan suatu oosit, (2) siklus uterin yang berfungsi menyediakan lingkungan yang cocok untuk

perkembangan blastosis, dan (3) siklus servikal yang berfungsi untuk memungkinkan sperma masuk ke dalam traktus reproduktif perempuan, pada waktu tertentu saja. Ketiga fungsi tersebut diintegrasikan oleh pengaruh hormonal hipotalamus, hipofisis, dan ovarium.^{5,6} Kromosom berkondensasi, membran nukleus hancur (tanda-tanda permulaan maturasi), dan kromosom homolog yang sudah bereplikasi pada metafase menempatkan diri di bidang ekuator, dan mengalami segregasi pada anafase I, menjadi dua nuklei anak, masing-masing mengandung separo jumlah kromosom asal, namun jumlah DNA tetap sama (diploid). Meiosis oogenik berbeda dengan meiosis spermatogenik dalam penempatan spindle. Pada metafase spindle bermigrasi ke pinggir sel.

Untuk mengakhiri pembelahan I meiosis, sitoplasma membagi materinya secara asimetris (*unequal cytokinesis*), sehingga menghasilkan dua sel anak yang sangat berbeda ukurannya, satu berupa oosit sekunder yang besar (prekursor telur), yang menerima hampir seluruh volum konstituen sel, dan yang satu lagi berupa satu *polar body* I yang kecil, yang hanya mengandung sedikit sekali sitoplasma.^{2,12} Pada stadium ini setiap kromosom masih berupa two sister chromatids. Pada ovulasi, oosit sekunder tersebut dibebaskan dari ovarium, kemudian mengalami pematangan yang cepat, mengalami transformasi menjadi telur yang siap untuk fertilisasi. Bila fertilisasi terjadi, telur distimulasi untuk melakukan meiosis secara komplit, dan pada stadium anafase II pembelahan II meiosis, *two sister chromatids* saling berpisah ke arah kutub yang berlawanan. Pada pembelahan II meiosis, sesudah pembelahan kromosom terakhir pada anafase II, sitoplasma oosit sekunder besar membelah lagi secara asimetris (*unequal cytokinesis*), menghasilkan telur matang atau *ovum* yang dan *polar body* II kecil, masing-masing dengan kromosom haploid. Kedua *polar body* ukurannya kecil, kemudian berdegenerasi

(Gambar 2).



Gambar 2. Oogenesis. Oogonium berkembang dari "primordial germ cell" yang bermigrasi ke dalam gonad yang sedang berkembang pada awal embriogenesis. Setelah mengalami sejumlah mitosis oogonia memasuki pembelahan I meiosis, menjadi oosit I (primer), pada manusia dibentuk pada bulan ketiga gestasi dan berhenti pada profase I, sampai individu yang bersangkutan mengalami maturitas seksual, sekitar usia 12 tahun. Di bawah pengaruh hormonal, sejumlah kecil oosit matang secara periodik, menyelesaikan pembelahan I meiosis, menjadi oosit II (sekunder) dan "polar body" I, seterusnya bila mengalami pembelahan I meiosis akan menjadi ovum. Stadium dimana telur atau oosit dibebaskan dari ovarium (mengalami ovulasi), dan dibuahi, dari spesies yang satu dengan spesies yang lain adalah berbeda. Pada kebanyakan vertebrata oosit II menghentikan meiosis pada metafase II, dan menyelesaikan meiosis II setelah fertilisasi. "Polar bodies" segera mengalami degenerasi.²

Sebagian besar oosit dalam ovarium perempuan dewasa dipertahankan dalam stadium diplonema pada profase meiotik pertama. Setiap oosit dikelilingi oleh lapisan folikel primordial yang disusun oleh selapis sel granulosa epitelial dan selapis sel teka mesenkimial. Secara periodik sekelompok folikel primordial memasuki stadium pertumbuhan folikular, sehingga oosit mengalami penambahan volume, dari 10 Mm menjadi 80 Mm pada folikel yang sudah berkembang sempurna. Seiring dengan pertumbuhan oosit tersebut, sel granulosit berproliferasi atas pengaruh faktor parakrin yang diproduksi oleh oosit. Sel granulosa kemudian menyusun diri menjadi beberapa lapis. Di bagian paling dalam, sel granulosa membentuk kumulus di sekeliling telur, dan antrum terbentuk di antara kumulus dan sel granulosa. Sel granulosa

menghasilkan cairan yang mengisi antrum. Cairan tersebut mengandung protein, hormon, dan molekul lain, yang berguna untuk perkembangan oosit. Akan tetapi setelah mencapai perkembangan tertentu, sebagian besar oosit dan folikel mati. Agar tetap hidup, folikel perlu mendapat rangsangan hormon gonadotropin.^{1,2,6}

Hari pertama pendarahan vagina ditetapkan sebagai hari pertama siklus menstruasi. Pendarahan tersebut menggambarkan lepasnya jaringan endometrium dan pembuluh darah yang akan membantu implantasi blastosit bila terjadi fertilisasi.

Hari pertama siklus disebut fase proliferasif atau fase folikular, dan pada saat itu kelenjar pituitari mengsekresikan FSH atas rangsangan GnRH hipotalamus. FSH berfungsi merangsang perkembangan folikel sampai stadium tertentu. FSH juga menginduksi pembentukan reseptor LH pada sel granulosa. Sesaat setelah periode pertumbuhan folikel inisial, pituitari mulai mengsekresikan LH. Atas pengaruh LH, blokade terhadap oosit primer pada stadium diplonema profase I hilang. Membran nukleus oosit pecah, dan oosit menyelesaikan pembelahan meiotik pertama. Itu adalah stadium ovulasi. Dua hormon gonadotropin FSH dan LH, merangsang sel folikel menghasilkan hormon estrogen. Estrogen berfungsi untuk: (1) merangsang proliferasi endometrium uterus, (2) mengubah mukus servik menjadi cair, sehingga memungkinkan sperma memasuki traktus reproduksi lebih dalam, (3) merangsang sel granulosa mengsekresikan inhibin yang berfungsi menghambat sekresi FSH, (4) pada kadar tinggi merangsang sekresi LH, dan (5) dalam kadar tinggi estrogen berinteraksi dengan hipotalamus, sehingga hipotalamus mengsekresikan GnRH. Bila kadar estrogen meningkat, kadar FSH turun, akan tetapi kadar LH terus meningkat. Pada hari kesepuluh sekresi estrogen meningkat tajam, diikuti oleh meningkatnya sekresi LH dan menurunnya FSH.^{1,2,6}

Mekanisme ovulasi secara detil belum diketahui, namun keluarnya oosit matang dari folikel tampaknya disebabkan oleh meningkatnya rangsangan LH terhadap kolagenase, aktivator

plasminogen, dan prostaglandin di dalam folikel. mRNA aktivator plasminogen mengalami dormansi di dalam sitoplasma oosit. LH menyebabkan mRNA mengalami poliadenilasi, dan ditranslasikan menjadi protease aktivator plasminogen yang berfungsi penuh. Kolagenase dan protease aktivator plasminogen berfungsi untuk memecahkan matriks ekstraselular folikel. Prostaglandin menyebabkan kontraksi otot polos lokal di dalam ovarium, meningkatkan aliran air dari kapiler ovarium, dan meningkatkan tekanan cairan antrum. Akibat rangsangan LH, tekanan folikular meningkat, dan terjadi degradasi dinding folikel, sehingga ovum dapat dibebaskan dari ovarium, dan terjadilah ovulasi.^{6,13}

Oosit menggunakan mekanisme khusus untuk dapat tumbuh menjadi berukuran besar. Strategi pertumbuhan cepat adalah dengan memanfaatkan kopi gen ekstra di dalam sel. Oosit menunda penyelesaian pembelahan meiotik pertama sedemikian rupa sambil tetap bertumbuh. Oosit mengandung perangkat kromosom diploid, jadi oosit mengandung massa DNA dua kali lipat untuk keperluan sintesis RNA, sebagaimana yang dilakukan sel somatik pada interfase. Oosit beberapa spesies memperpanjang akumulasi ekstra DNA cukup lama, untuk memproduksi banyak kopi ekstra gen tertentu. Sel somatik kebanyakan organisme membutuhkan 100 sampai 500 kopi gen RNA ribosom untuk memproduksi ribosom yang cukup untuk sintesis protein. Telur membutuhkan sejumlah besar ribosom untuk sintesis protein selama masa awal embriogenesis.^{6,15} Sel aksesoris di dalam ovarium yang membantu memberi makanan untuk perkembangan oosit baik pada invertebrata maupun vertebrata adalah sel somatik biasa yang disebut sel folikel. Sel folikel tersusun seperti lapisan epitel yang mengelilingi oosit (Gambar 2), dan dihubungkan dengan oosit hanya dengan perantaraan *gap junctions*, suatu penghubung yang memungkinkan pertukaran molekul kecil. Selain itu sel folikel dapat mengsekresikan makromolekul untuk selubung telur, dan untuk dimanfaatkan telur melalui reseptor permukaannya.^{6,15}

Setelah ovulasi, fase luteal siklus menstruasi dimulai. Sel folikel yang tersisa atas pengaruh

LH berkembang menjadi korpus luteum, yang terdiri atas sel lutein. Korpus luteum menghasilkan hormon, terutama progesteron dan sedikit estrogen.

Hormon tersebut bersirkulasi di dalam uterus, menyiapkan jaringan uterus untuk implantasi blastosis. Progesteron juga menghambat produksi FSH, sehingga mencegah maturasi folikel menjadi ovum. Oleh karena itu estrogen dan progesteron digunakan sebagai pil kontrasepsi.^{2,6}

Bila ovum tidak difertilisasi, korpus luteum mengalami degenerasi, sekresi progesteron berhenti, dan dinding uterus luruh. Dengan menurunnya progesteron, sekresi FSH oleh pituitari dimulai lagi, dan siklus menstruasi diperbaharui. Siklus menstruasi memungkinkan maturasi dan ovulasi periodik ovum manusia dan memungkinkan uterus untuk berkembang secara periodik menjadi organ tempat perkembangan bayi selama sembilan bulan bila ovum berhasil dibuahi oleh sperma. Akan tetapi ovum dan sperma akan mati bila keduanya tidak bertemu dalam waktu 24 jam.^{2,4-6}

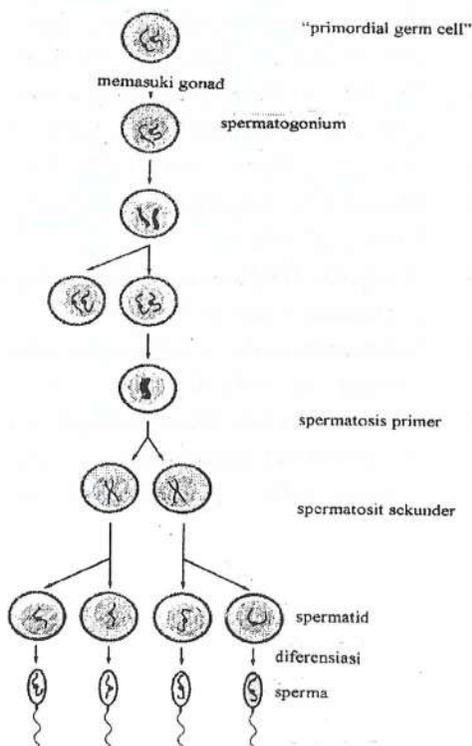
Spermatogenesis

Spermatogonium berkembang dari *primordial germ cells* yang bermigrasi ke dalam gonad yang sedang berkembang pada awal embriogenesis.^{1,2,16} Spermatogonium mengadakan mitosis secara kontinu di dalam testis. Pada saat pria mengalami maturitas seksual, beberapa sel spermatogonium tersebut berhenti berproliferasi dan mengadakan diferensiasi menjadi spermatosit primer. Spermatosit primer berada pada stadium profase meiotik pertama, dan kromosom homolog yang berpasangan mengadakan *crossing-over*, kemudian melanjutkan pembelahan I meiosis, untuk menghasilkan spermatosit sekunder, yang masing-masing mengandung 22 kromosom autosomal yang berduplikasi dan satu kromosom X yang berduplikasi atau satu kromosom Y yang berduplikasi. Dua spermatosit sekunder, derivat spermatosit primer tersebut kemudian melanjutkan diri pada pembelahan II meiosis, untuk menghasilkan empat spermatid, masing-masing dengan jumlah kromosom tunggal yang haploid.^{1-3,16}

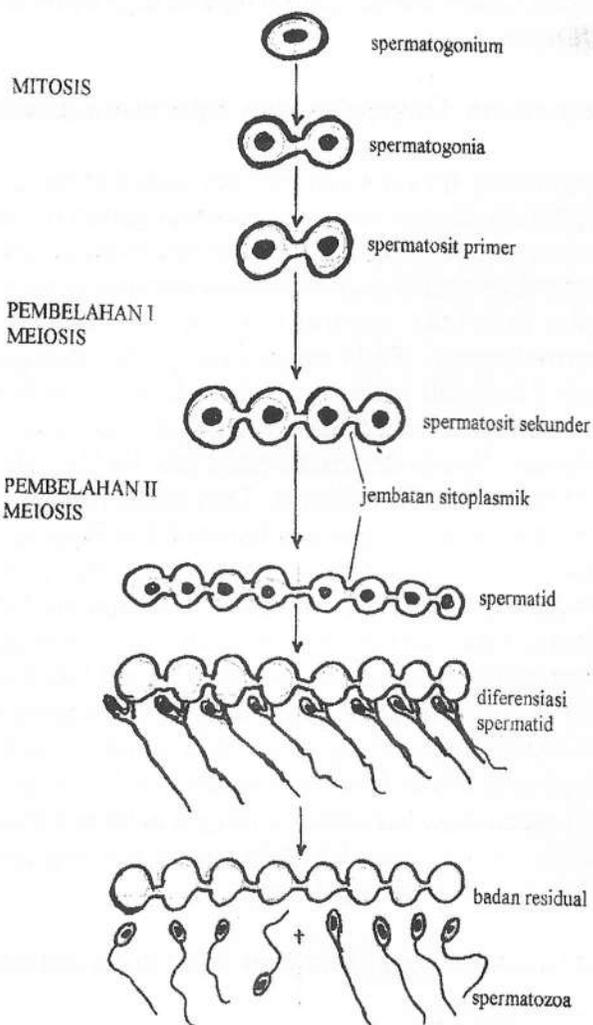
Spermatid haploid selanjutnya mengalami diferensiasi morfologis menjadi sperma (Gambar

3), yang kemudian masuk ke dalam lumen tubulus seminiferus. Sperma kemudian masuk ke dalam epididimis, untuk pematangan fisiologis dan disimpan.²

Ciri spermatogenesis yang menarik adalah bahwa sel benih laki-laki yang sedang dalam perkembangan, gagal mengadakan sitokinesis (pembelahan sitoplasma) secara sempurna baik selama mitosis dan meiosis. Akibatnya terbentuklah klon sel anak yang diturunkan dari satu spermatogonium yang sedang mengalami pematangan. Klon sel anak tersebut tetap berhubungan satu sama lain, membentuk suatu *syncytium* melalui jembatan sitoplasmik (Gambar 4). Jembatan sitoplasmik tetap bertahan sampai akhir diferensiasi sperma, sampai sperma siap dibebaskan ke dalam lumen tubulus seminiferus. Hal itu menjelaskan observasi sebelumnya yang menyatakan bahwa sperma matang secara serentak di dalam area masing-masing di dalam tubulus seminiferus. Apa sebenarnya fungsi susunan *syncytial* tersebut, sampai sekarang masih belum jelas.²



Gambar 3. Spermatogenesis. Spermatogonium berkembang dari "primordial germ cell" yang bermigrasi ke dalam gonad yang sedang berkembang pada awal embriogenesis. Spermatogonium mengadakan mitosis secara kontinu di dalam testis. Pada saat seorang laki-laki mengalami maturitas seksual, beberapa sel anak berhenti berproliferasi, kemudian berdiferensiasi secara kontinu, memasuki pembelahan I meiosis menjadi spermatosit primer. Spermatosit primer kemudian menyelesaikan pembelahan I meiosis, dan terbentuklah spermatosit sekunder. Spermatosit sekunder melanjutkan diri dan menyelesaikan pembelahan II meiosis, sehingga terbentuklah empat spermatid haploid. Spermatid-spermatid tersebut kemudian mengalami diferensiasi menjadi spermatozoa 2



Gambar 4. Jembatan sitoplasmik pada spermatogenesis. Spermatogonia yang memasuki meiosis tetap berhubungan satu dengan yang lain melalui jembatan sitoplasmik, sampai saat sperma matang. Untuk penyederhanaan, di sini hanya ditunjukkan dua spermatogonia yang memasuki meiosis, yang kemudian menghasilkan empat spermatid. Pada proses diferensiasi, sebagian besar sitoplasma spermatid ditinggalkan oleh spermatozoa sebagai badan residual. 2

Tidak seperti oosit, sperma mengalami sebagian besar diferensiasinya sesudah nukleus menyelesaikan meiosisnya, dan menjadi haploid. Terbentuknya jembatan sitoplasmik bermanfaat agar masing-masing sperma haploid yang berkembang membagikan sitoplasma ke sel tetangga. Dengan cara itu sitoplasma berikut produk genom diploid dapat dibagikan ke sel tetangga. Sebagai contoh, sperma yang sedang berkembang yang membawa satu kromosom Y dapat diberikan protein esensial yang disandi oleh gen yang terdapat pada kromosom X. Jadi, genom diploid mengarahkan atau mengatur diferensiasi

sperma seperti halnya genom diploid juga mengatur diferensiasi telur.²

Perbedaan Oogenesis dan Spermatogenesis

Oogenesis merupakan proses perkembangan oogonium pada perempuan menjadi gamet betina atau ovum atau telur, sedangkan spermatogenesis merupakan proses perkembangan spermatogonium pada laki-laki menjadi gamet jantan atau spermatozoon. Pada oogenesis perkembangan oosit I berhenti pada stadium diplonema profase I meiosis, pada saat fetus berusia tiga bulan sampai pubertas. Spermatogenesis pada laki-laki berjalan kontinu sejak masa pubertas. Dari setiap oogonium yang memasuki oogenesis hanya dihasilkan satu gamet perempuan atau ovum haploid yang berukuran besar dan non-motil, sedangkan dari setiap spermatogonium yang memasuki spermatogenesis dihasilkan empat gamet laki-laki atau spermatozoa haploid yang sama besarnya, dan berukuran paling kecil bila dibandingkan dengan sel tubuh lainnya, namun motil. Meiosis pada perempuan berlangsung hingga puluhan tahun, sedang meiosis pada laki-laki hanya berlangsung dalam hitungan hari (74 hari).

Persamaan Oogenesis dan Spermatogenesis

Oogenesis maupun spermatogenesis menghasilkan gamet haploid. Oogenesis maupun spermatogenesis melibatkan pembelahan mitosis dan meiosis.

Daftar Pustaka

1. De Robertis EDP, De Robertis EMF, editors. *Cell and Molecular Biology: meiosis and sexual reproduction*. 8th ed. Philadelphia: Lea & Febiger; 1997.p.439-65.
2. Alberts B, Johnson A, Lewis J, Raff M, Roberts, Walter P, editors. *Molecular Biology of The Cell: germ cells and fertilization*. 4^{ed} ed. New York: Garland Science; 2002.p.1127-56
3. SparkNotes: SAT Biology: spermatogenesis and oogenesis. 2006;1-3
4. Myles DG, Primakoff P. Why did the sperm cross the cumulus? To get to the oocyte. Functions of the sperm surface proteins PH20 and fertilin in arriving at, and fusing with the egg. *Biol Reprod* 1997;56:320-7.
5. Wassarman PM, Jovine L, Litcher ES. A profile of fertilization in mammals. *Nat Cell Biol*. 2001;3:59-64
6. Gilbert SF, editor. *Developmental Biology: oogenesis*. 6th ed. New York: Sunderland MA Sinauer; 2001.p.185-221
7. Roeder GS. Meiotic chromosomes: it takes two to tango. *Genes Dev* 1997;11:2600-21.
8. Smith KN, Nicolas A. Recombination at work for meiosis. *Curr Opin Genet Dev* 1998;8:200-11.
9. Zickler D, Kleckner N. Meiotic chromosomes: integrating structure and function. *Ann Rev Genet* 2000;33: 603-754.
10. Nasmyth K, Peters JM, Uhlmann F. Splitting the chromosome: cutting the ties that bind sister chromatids. *Science* 2000;288:1379-85.
11. Dej KJ, Orr-Weaver TL. Separation anxiety at the centromere. *Trends Cell Biol* 2000; 10: 392-9.
12. Wylie C. Germ cells. *Cell* 1999; 96: 165-74.
13. McLaren A. Signaling for germ cells. *Genes Ev* 1999;13:373-76.
14. Wikipedia, the free encyclopedia: oogenesis. 007;1-3. Diunduh 7 Januari 2007
15. Sathananthan AH. Ultrastructure of the human egg. *Human Cell* 1997;10:21-38.
16. Ward, Coffey DS. DNA packaging and organization in mammalian spermatozoa: comparison with somatic cells. *Biol Reprod* 1997;44:569-74.