

PERKEMBANGAN DAN STRUKTUR RETINA

Fitri Wisnuwardani, Iwan Sovani, Djonggi Panggabean, Arief S. Kartasmita, Erwin Iskandar, Rova Virgana
Departemen Ilmu Kesehatan Mata Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran,
Pusat Mata Nasional Rumah Sakit Mata Cicendo Bandung

Input sensorik pada manusia 80% terjadi melalui retina, melibatkan sekitar sepertiga otak manusia dalam proses pengolahan informasi sensorik. Retina merupakan bagian dari sistem saraf pusat (SSP) yang mudah terlihat sehingga retina dapat menjadi “jendela” untuk memeriksa bagian SSP dan sistem kardiovaskular.^{1,2}

Pengetahuan menyeluruh mengenai embriologi dan anatomi mata adalah prasyarat untuk memahami penyakit yang memiliki manifestasi okular. Pengetahuan anatomi tersebut penting untuk perencanaan yang tepat dan pelaksanaan yang aman dari operasi mata dan orbita. Penelitian mengenai perkembangan mata, terutama embriologi, merupakan hal yang sulit karena kelangkaan subjek yang sesuai, sehingga masih ada ketergantungan pada studi hewan. Embriologi mata manusia sudah banyak diteliti walau terdapat sedikit hambatan, dan hal ini telah menyebabkan pemahaman yang lebih dalam pada anomali perkembangan mata serta cara menanganinya. Sari kepustakaan ini berisi pengetahuan dasar tentang retina. Lebih spesifik lagi mengenai perkembangan retina selama masa gestasi, setelah lahir, dan struktur retina dewasa.²

Embriogenesis

Pembentukan mata merupakan proses yang sangat kompleks dimana setiap tahap memerlukan koordinasi antar jaringan yang berkontribusi.³

Perkembangan mata mulai tampak pada tahap embrio (22 hari setelah ovulasi) sebagai sepasang lekukan dangkal pada sisi kanan dan kiri otak depan. Lekukan ini selanjutnya menjadi vesikel optik.^{3,4,5}

Trimester Pertama

Perkembangan retina dimulai pada minggu keempat kehamilan (gambar 1).

Neuroretina, EPR (epitel pigmen retina/*retinal pigment epithelium*) dan saraf optik berasal dari neuro-ektoderm. Vesikel optik mulai mengalami invaginasi dan membentuk *optic cup* yang ber dinding rangkap segera setelah menempel pada ektoderm permukaan. Dua lapisan *optic cup* merupakan calon retina, lapisan eksternal adalah calon EPR dan lapisan internal adalah calon retina sensoris (*sensoric retina*). Invaginasi memungkinkan penyebaran akson sel ganglion pertama retina untuk menembus tangkai optik dan memungkinkan penyempitan rongga vesikel optik untuk menjadi ruang potensial subretinal (gambar 2).^{3,4,5,6,7}

Perkembangan EPR terlihat pada minggu kelima dan terdiri dari dua atau tiga lapis sel kolumnar, yang kemudian akan menipis pada minggu keenam sampai memiliki ketebalan satu sel. EPR memanjang secara posterior sebagai lapisan luar dari sel tangkai optik pada minggu ketujuh, dan minggu kedelapan mengalami maturasi. Calon retina sensoris terdiri dari lapisan luar inti (zona proliferasi atau zona germinativum) dan zona marginal yang tidak berinti (*anuclear marginal zone*) saat minggu kelima, dan kemudian akan menebal pada minggu keenam. Sel germinativum berproliferasi pada zona inti dan bermigrasi ke zona marginal pada minggu ketujuh, proses ini membentuk lapisan neuroblastik interna dan eksterna (*inner and outer neuroblastic layer*), dipisahkan oleh prosesus yang membentuk lapisan serat transien Chievitz. Sel ganglion dan sel Müller mulai bermigrasi ke arah dalam pada lapisan neuroblastik interna. Akson sel ganglion akan mulai menembus tangkai optik pada minggu kedelapan, akson ini merupakan awal dari lapisan serat saraf (*nerve fiber*

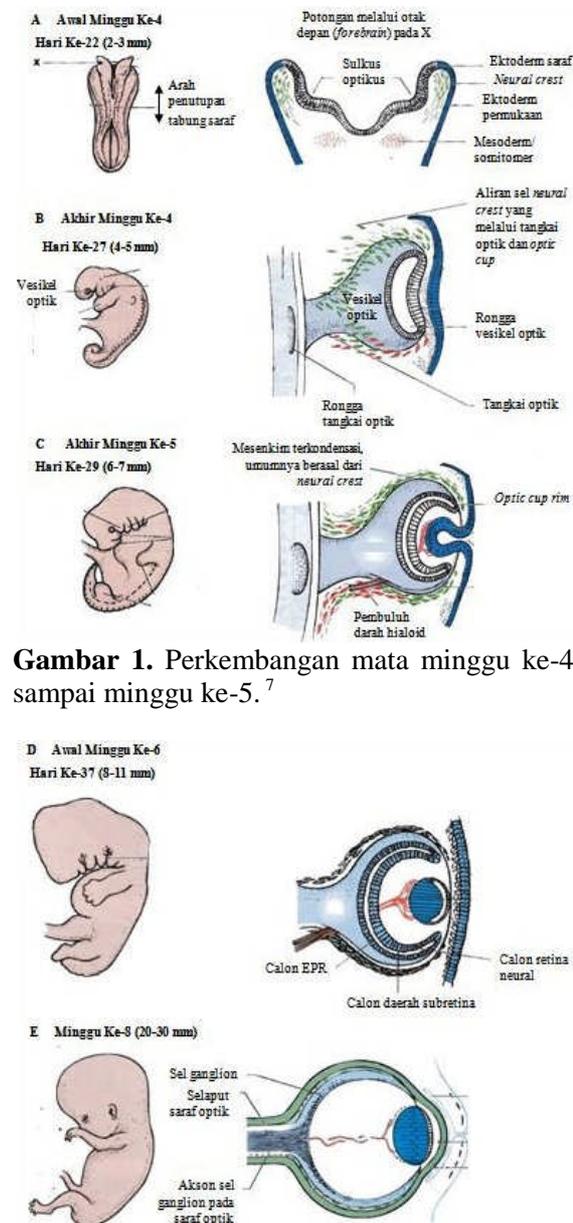
layer). Sel Müller membentuk serat radial dalam (*inner radial fibers*) yang memanjang ke membrana limitans interna (*internal limiting membrane*) pada saat yang bersamaan. Calon astroglia retina yang merupakan glioblas retina yang bermigrasi, menyusun diri sepanjang akson-akson menuju membrana limitans interna.^{4,5,7,8}

Proliferasi retina dimulai dari zona inti luar dan berlangsung ke arah dalam pada bulan ketiga, sementara diferensiasi berlangsung dari lapisan dalam menuju ke luar. Sel ganglion interna merupakan sel pertama yang berdiferensiasi dan fotoreseptor eksterna adalah sel terakhir yang berdiferensiasi. Sel ganglion pertama diikuti sel Müller akan bermigrasi ke arah dalam dan membentuk lapisan yang terpisah pada lapisan neuroblastik interna, kemudian membentuk lapisan pleksiform interna (*inner plexiform layer*). Sel Müller menempel pada membrana limitans eksterna dan interna retina. Diferensiasi juga dimulai dari polus posterior dan berlangsung secara bertahap ke arah perifer. Calon sel horizontal dan sel bipolar bermigrasi ke arah dalam dan menyumbat lapisan Chievitz pada lapisan neuroblastik eksterna, kemudian membentuk lapisan pleksiform eksterna (*external plexiform layer*).^{4,7}

Trimester Kedua

Semua pendukung utama retina seperti fotoreseptor, lapisan plaksiform eksterna, lapisan inti dalam, lapisan pleksiform interna, lapisan sel ganglion, lapisan serat saraf, dan membrana limitans interna telah muncul saat trimester kedua. Fovea putatif muncul pada bagian posterior zona inti luar. Sel Müller mulai bermaturasi dan memproduksi asam hialuronat. Apoptosis menyebabkan penurunan jumlah sel ganglion dan akson-aksonnya di saraf optik, proses ini lebih besar pada bagian perifer, menyebabkan distribusi sentrifugal sel ganglion pada retina fetal. Makula muncul sebagai daerah tonjolan dengan lapisan sel ganglion yang menebal. Sel

horizontal lebih terlihat jelas dan tersusun dalam satu baris yang ireguler. Sel amakrin terletak pada posisi yang sudah pasti pada lapisan dalam retina.^{4,8}



Gambar 1. Perkembangan mata minggu ke-4 sampai minggu ke-5.⁷

Gambar 2 Perkembangan mata minggu ke-6 dan minggu ke-8.⁷

Sel bagian luar dari lapisan neuroblastik eksterna yaitu calon fotoreseptor, mulai berdiferensiasi dan akan bertambah jelas pada bulan kelima. Plasma membran fotoreseptor membentuk lekukan. Diferensiasi fotoreseptor terjadi paling banyak pada fotoreseptor kerucut saat bulan keenam, ketika inti sel kerucut tersusun dalam baris yang dekat dengan

membran limitans eksterna dan inti sel batang terletak lebih dalam. Segmen luar dan dalam serta pedikel kerucut primitif mulai terlihat.^{4,8}

Proses penting dari tahap ini adalah munculnya vaskularisasi retina yang berlangsung secara cepat. Kapiler yang baru terbentuk memanjang ke arah perifer kemudian membentuk arteri dan vena. Sel yang melakukan kontak langsung dengan aliran darah menjadi sel endotel dan yang mengelilinginya menjadi perisit pada kapiler. Kanalis arteri dan vena mulai terbentuk, sementara beberapa cabang mengalami retraksi dan atrofi, membentuk zona perivaskular bebas kapiler; hal ini disebut dengan *remodeling* retina. Maturasi retina mendahului pertumbuhan pembuluh darah. Pleksus kapiler interna terbentuk lebih awal diikuti oleh pleksus kapiler dalam.^{4,8}

Proses maturasi dimulai dari polus posterior dan berlangsung menuju bagian perifer dengan kecepatan yang sama dengan vaskularisasi retina. Proses lain yang terjadi saat trimester kedua ini adalah munculnya *physiological cup*, ora serrata, ruang subretina saat usia kehamilan lima bulan, dan masih terdapatnya sisa dari lapisan Chievitz.^{4,8}

Trimester Ketiga

Diferensiasi fotoreseptor batang terlihat saat bulan ketujuh. Struktur tubular tersusun sebagai kantung lamelar dan mitokondria terkumpul pada elipsoid pada saat ini. Ujung fotoreseptor berdiferensiasi dan membentuk vesikel sinaps (*synaptic vesicles*) dan pita sinaps (*synaptic ribbons*). Makula masih terlihat menonjol pada tahap ini dan perkembangan fovea berlanjut di makula. Pembentukan celah fovea (*foveal pit*), lekuk fovea (*foveal slope*), serta migrasi fotoreseptor ke arah dalam merupakan hasil migrasi sel ganglion ke arah luar. Fotoreseptor dan sel EPR yang dekat dengan fotoreseptor mengalami proses migrasi sentripetal. Makula dikelilingi oleh kapiler yang tidak berproliferasi ke arah sentral sehingga

fovea menjadi daerah yang avaskular. Vaskularisasi retina berlanjut ke arah perifer namun tidak memanjang ke ora serrata, sehingga pada saat ini zona avaskular retina tetap berada di perifer. Bagian perifer vaskularisasi retina yang berkembang tersusun dari sel mesenkim yang berbentuk kumparan, disebut juga dengan *the vanguard of vasoformative tissue*. Sel endotel berproliferasi di bagian belakang *vanguard* dan membentuk lingkaran (*loops*). Kapiler sudah berkembang secara normal di dalam lapisan serabut saraf pada tahap yang sudah berdiferensiasi penuh, sementara pada tahap ini sel endotel akan memiliki beberapa taut longgar (*gap junctions*). Jumlah taut longgar akan bertambah dan dapat bertindak sebagai sawar untuk perkembangan kapiler intraretinal lebih lanjut saat sel endotel mengalami aktivasi.⁴

Fotoreseptor serta daerah subretinal tampak memanjang hingga ora serrata saat bulan kedelapan kehamilan. Perkembangan vaskular retina pada bagian perifer nasal secara umum sudah lengkap pada usia ini. Jumlah sel ganglion bertambah sedikit, namun tetap lebih tebal di posterior dan perifoveal dimana sel ganglion perifer menjadi lebih jarang.^{4,8,9,10}

Retina sudah berdiferensiasi dengan baik pada bulan kehamilan kesembilan yang ditandai dengan maturasi sel EPR dan fotoreseptor. Pigmentasi makular terjadi saat minggu ke-34-35 kehamilan dan menghasilkan penampakan merah gelap yang berbeda dari retina sekitarnya. Hal ini disebabkan karena perubahan histologis pada sel EPR di daerah makula. Refleks *perimacular annular* muncul pada minggu ke-34-36 kehamilan, berbentuk sirkular mengelilingi pusat fovea dengan diameter sekitar 1,5 mm. Refleks ini disebabkan karena perubahan histologis pada lapisan sel ganglion retina, ketika sel ganglion, sel amakrin, sel bipolar, sel Müller, dan sel horizontal berpindah dari fovea. Refleks fovea merupakan temuan oftalmoskopis terakhir pada bayi matur, umumnya dapat terlihat pada minggu ke-37 kehamilan dan

menjadi matur pada minggu ke-42 kehamilan. Hal ini berhubungan dengan penipisan lapisan inti dalam dan luar fovea, yang menghasilkan cekungan pada bagian tengah makula. Makula mungkin tampak matur pada minggu ke-42 kehamilan, namun maturitas histologis tidak terlihat sampai masa kanak-kanak.^{4,10}

Pembuluh darah retina berlanjut ke ora serrata bagian temporal pada usia gestasi 40 minggu dan akan berkembang lengkap sampai beberapa minggu setelah lahir. Jauh di dalam retina, kapiler mencapai lapisan inti dalam dan membentuk jaringan kapiler eksternal, yang dengan sendirinya tidak mencapai ekuator.^{4,10}

Perkembangan Retina Setelah Lahir

Makula merupakan bagian permukaan okular yang paling belum berkembang saat lahir. Bayi baru lahir memang sudah memiliki bagian perifer retina yang sudah berkembang dengan baik secara histologi dan fungsional, namun bagian polus posterior terutama daerah makular, sangat imatur sehingga diyakini belum dapat berfungsi dengan baik. Perkembangan tajam penglihatan berlanjut dengan cepat sampai sekitar usia 4 tahun. Peningkatan tajam penglihatan dipengaruhi oleh 3 proses yaitu, diferensiasi fotoreseptor kerucut, reduksi diameter zona bebas sel batang, dan peningkatan densitas fovea kerucut. Perubahan yang paling terlihat adalah pigmentasi makula, perkembangan cincin anular, diferensiasi refleksi fovea, dan diferensiasi fotoreseptor sel kerucut.¹⁰

Usia 4 Bulan Pertama

Perubahan histologis yang paling tampak pada perkembangan fovea manusia adalah diameter foveola (daerah bebas sel batang pada makula), bentuk segmen dalam dan segmen luar dari sel batang fovea, dan densitas sel batang fovea. Ukuran foveola kira-kira 1.100 μm saat lahir. Ukuran zona bebas sel batang pada makula mengalami penurunan yang stabil sebagai hasil migrasi ke dalam dan pemusatan nukleus

sel kerucut selama beberapa tahun kemudian.⁴

Luas area retina kurang lebih 600 mm^2 saat lahir. Akson sel bipolar yang melewati lapisan pleksiform interna akan menggantikan lapisan transien Chievitz yang terlihat. Relokasi dari semua lapisan ke bagian perifer kemiringan fovea terjadi 4 bulan setelah kelahiran. Fovea tetap imatur, bahkan sampai usia 6-8 bulan setelah lahir. Ukuran dari fovea yang tidak matur adalah 5 derajat. Faktor yang berpengaruh pada perkembangan fovea setelah lahir yakni migrasi sel-sel kerucut ke dalam menuju pusat dan pemanjangan kerucut foveal. Pemanjangan ini melibatkan segmen luar dan akson basal serta menyebabkan penyempitan kerucut foveal. Perkembangan fovea berlangsung bersamaan dengan pertumbuhan dendritik neuron kortikal dan pembentukan sinaps. Lapisan sel ganglion (*ganglion cell layer*) dan lapisan neuroblastik interna memiliki ketebalan berupa lapisan satu sel saat lahir. Lapisan sel ganglion dan neuroblastik interna bertambah tipis, namun lapisan neuroblastik eksterna bertambah tebal setelah lahir. Segmen dalam dari sel fotoreseptor kerucut terlihat bulat dan tebal saat lahir, sementara segmen luar tampak tipis dan pendek. Segmen luar dan dalam mengalami maturasi dengan kecepatan yang berbeda. Bayi baru lahir memiliki ukuran zona bebas kapiler pada area makula yang sama dengan orang dewasa. Perkembangan vaskularisasi retina pada bagian temporal biasanya belum lengkap sampai beberapa minggu setelah lahir, Foos dan Kopelow menyatakan bahwa maturasi vaskularisasi retina perifer cukup bervariasi.^{3,4,7,9,10,11,12}

Usia 4 Bulan–2 Tahun

Lapisan inti dalam dan lapisan sel ganglion telah menyusut ke bagian perifer fovea pada usia 4 bulan setelah lahir, meninggalkan hanya satu inti pada daerah foveal. Migrasi dari sel ganglion fovea dan sel pada lapisan inti dalam berlangsung kurang lebih selama 25 bulan.

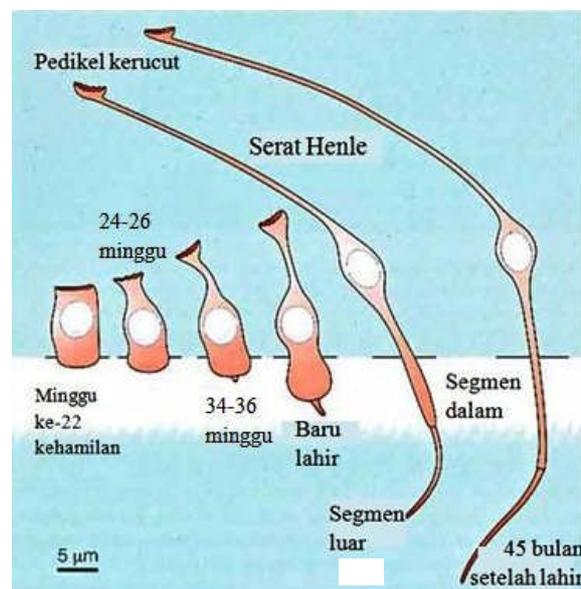
Pemanjangan segmen luar dan segmen dalam muncul pada beberapa bulan berikutnya. Penelitian menunjukkan bahwa 95% pertumbuhan diskus optikus dan saraf optik terlihat sebelum usia 1 tahun. Pars plana dan bagian ora serrata yang dekat dengan ekuator berkembang setelah lahir seiring dengan perkembangan lebih lanjut dari bola mata, yang terjadi sampai kira-kira usia 2 tahun. Luas area retina mencapai 800 mm^2 saat usia 2 tahun. Segmen luar mengalami penipisan ke ukuran dewasa dan memanjang pada kurang lebih setengah kali panjang dari segmen luar dewasa pada usia 15 bulan. Depresi fovea sudah tampak pada usia ini. Pemanjangan sel kerucut yang berada di segmen luar muncul perlahan. Segmen dalam dari sel kerucut juga mengalami diferensiasi pada masa ini.^{4,7,10,11,13}

Usia 2-4 Tahun

Makula akan mengalami perubahan yang cepat sampai usia sekitar 4 tahun, dimana pada usia ini lapisan transien Chievitz akan hilang. Zona bebas sel batang mencapai diameter dewasa 700 sampai $750 \mu\text{m}$ dalam 15 sampai 45 bulan setelah lahir. Diameter kerucut berkurang dari $7,5 \mu\text{m}$ saat lahir menjadi $2 \mu\text{m}$ pada usia 45 bulan. Bagian segmen luar dari fotoreseptor kerucut pada anak berusia 45 bulan tetap lebih pendek 30% dari pada individu yang berusia 37 tahun. Kepadatan fovea meningkat dari $18/100 \mu\text{m}$ pada saat lahir menjadi $42/100 \mu\text{m}$ pada mata dewasa. Proses peningkatan densitas sel kerucut ini menghasilkan perbaikan resolusi dan tajam penglihatan. Fovea mencapai bentuk dewasa pada usia 45 bulan. Keempat struktur mengalami penipisan dan pemanjangan yang ekstrim setelah lahir. Lapisan neuroblastik eksterna memiliki enam sampai tujuh lapisan dari inti sel fotoreseptor kerucut pada usia 4 tahun.^{3,10}

Proses perkembangan konus fovea manusia diurai pada gambar 3, terlihat gambaran konus fovea saat usia kehamilan 22 minggu, 24-26 minggu, 34-36 minggu, saat lahir, dan 15 serta 45 bulan setelah

lahir. Bagian segmen dalam sudah terbentuk sebelum lahir, sementara segmen luar berkembang terutama setelah lahir. Pedikel kerucut dan serat Henle (*Fiber of Henle*) sudah terbentuk sebelum lahir.¹¹



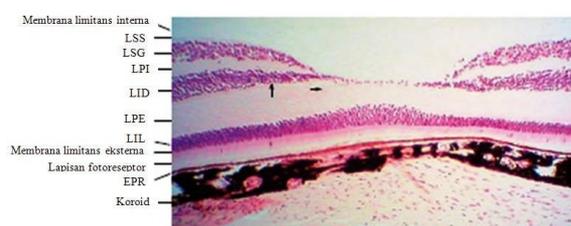
Gambar 3. Tahap perkembangan konus fovea.¹¹

Struktur Retina Dewasa

Retina memiliki sekitar 65 juta sel fotoreseptor pada setiap mata, yang terdiri dari 3,2 juta sel kerucut dan 60 juta sel batang. Terdapat 5 regio : makula, parafovea, perifovea, fovea, dan foveola. Densitas fotoreseptor semakin berkurang dari fovea menuju perifer. *Macula lutea* (bintik kuning) merupakan bagian retina posterior yang mengandung pigmen *xanthophyll*, berada pada bagian temporal dari diskus optikus. Makula memiliki 2 atau lebih dari lapisan sel ganglion. Diameter makula berukuran 5-6 mm, berada di tengah antara arkade vaskular temporalis. Fovea sentralis merupakan bagian tengah dari makula, letaknya sedikit inferior dari diskus optikum di retina, berdiameter $1,5 \text{ mm}$ dan berfungsi pada tajam penglihatan dan penglihatan warna. Lapisan fovea lebih cekung dari daerah sekitarnya. Bagian sentral fovea dengan ukuran $500 \mu\text{m}$ tidak memiliki vaskularisasi sehingga disebut dengan *FAZ* (*Foveal Avascular Zone*). Sentral fovea

memiliki bagian yang paling cekung (*central depression*), disebut dengan foveola yang memiliki diameter 0,35 mm dan hanya terdapat sel-sel kerucut. Cekungan yang kecil disebut dengan umbo. Di sekeliling fovea merupakan cincin yang berukuran 0,5 mm, yang disebut daerah parafoveal. Sementara cincin yang memiliki lebar kurang lebih 1.5 mm disebut dengan zona perifoveal.^{12,14}

Gambar 4 menunjukkan gambaran lapisan retina dan gambaran skematik fovea. LSS adalah lapisan serat saraf, LSG adalah lapisan sel ganglion, LID merupakan lapisan inti dalam, LPE adalah lapisan pleksiformis eksterna, LIL adalah lapisan inti luar, SL adalah segmen luar, EPR adalah epitel pigmen retina. Terlihat bahwa terdapat perbedaan lapisan pada bagian retina perifer dan pada daerah fovea. Lapisan yang terdapat pada bagian tengah fovea adalah EPR, lapisan fotoreseptor, membrana limitans eksterna, LIL, beberapa inti sel yang tersebar dari LID, dan membrana limitans interna.^{15,16}



Gambar 4. Lapisan retina.¹⁵

Vaskularisasi Retina

Retina mendapat dua vaskularisasi. Lapisan luar retina, yaitu epitel pigmen retina hingga lapisan pleksiform luar mendapat vaskularisasi dari koriokapiler yang terdapat di koroid secara difusi. Lapisan bagian dalam retina mulai dari lapisan inti dalam hingga membrana limitans interna sementara itu mendapat vaskularisasi dari arteri retina sentral yang merupakan percabangan dari arteri oftalmika sebagai cabang pertama dari arteri karotis interna.¹²

Pembuluh darah arteri dan vena berjalan menembus membrana limitans

interna hingga lapisan serat saraf. Berubah setelah itu menjadi arteriol dan venula hingga membentuk dua jaringan mikrovaskular, yaitu kapiler superfisial di lapisan sel ganglion dan lapisan serat saraf, dan kapiler yang lebih padat serta lebih dalam di lapisan inti dalam. Arteri terlihat berwarna merah terang, sementara vena berwarna merah gelap. Arteri lebih kecil daripada vena dengan perbandingan kira-kira 3:4.^{12,14}

Sepuluh Lapisan Retina

Retina memiliki sepuluh lapisan. Lapisan tersebut antara lain (dari bagian dalam vitreus, ke arah posterior) : membrana limitans interna, lapisan serat saraf, lapisan sel ganglion, lapisan pleksiform interna, lapisan inti dalam, lapisan pleksiform eksterna, lapisan inti luar, membrana limitans eksterna, lapisan fotoreseptor, epitel pigmen retina.¹⁵

Membrana limitans interna retina terbentuk oleh bagian akhir dari sel Müller dan berhubungan dengan bagian utama membran/lamina basalis, membentuk batas terdalam dari retina. Membrana limitans interna merupakan permukaan dalam retina yang membatasi vitreus humor, dengan demikian fungsinya ialah membentuk sawar di antara neuroretina dan cairan vitreus. Sel Müller, sel astrosit, dan sel mikroglial merupakan sel neuroglial yang berfungsi untuk menyediakan struktur dan sokongan serta berperan dalam reaksi jaringan saraf bila mengalami kerusakan atau infeksi. Sel Müller adalah sel neuroglial besar yang memanjang pada sebagian besar retina. Sel ini berperan dalam menyediakan struktur. Bagian apeks dari sel Müller berada di lapisan fotoreseptor, sementara bagian basal berada di permukaan dalam retina. Sel astrosit merupakan sel berserat yang berbentuk bintang yang ditemukan pada bagian dalam retina. Sel astrosit ini berkontribusi pada membrana limitans interna dan memiliki fungsi yang sama dengan sel Müller. Sel mikroglial merupakan sel fagositik yang tersebar

(*wandering*), dapat ditemukan di seluruh retina. Jumlahnya meningkat bila terdapat inflamasi dan kerusakan.¹⁵

Lapisan serat saraf terdiri dari akson sel ganglion. Berjalan sejajar dengan permukaan retina lalu dari serat optik menuju ke diskus optikus dan akhirnya keluar dari mata melalui lamina kribosa sebagai saraf optik.¹⁵

Lapisan sel ganglion merupakan lapisan sel tunggal yang tebal, kecuali di bagian makula. Lapisan ini dipisahkan oleh proses sel glial Müller. Jumlah sel ganglion berkurang dan lapisan serat saraf menipis ke arah ora serrata. Sel ganglion dapat berupa bipolar atau multipolar. Ukuran sel bervariasi. Klasifikasi berdasarkan lapisan badan genikulatum lateralis yaitu sel ganglion P1, P2, dan tipe-M.¹⁵

Lapisan pleksiform interna terdiri dari koneksi sinaptik antara akson sel-sel bipolar dan dendrit sel ganglion.¹⁵

Lapisan inti dalam terdiri dari badan sel horizontal, sel bipolar, sel amakrin, neuron interpleksiform, sel Müller, dan beberapa sel ganglion yang berpindah. Inti sel horizontal dekat dengan lapisan pleksiform eksterna. Inti sel amakrin terletak di sebelah lapisan pleksiform interna. Sel bipolar memiliki dendrit di lapisan pleksiform eksterna dan akson di lapisan pleksiform interna. Neuron interpleksiform menerima input dari lapisan pleksiform interna dan diproyeksikan ke lapisan pleksiform eksterna. Sel horizontal berfungsi untuk mentransfer informasi dengan arah horizontal secara paralel dengan permukaan retina. Sel horizontal memiliki prosesus atau akson yang panjang. Sel bipolar merupakan orde kedua neuron pada jalur visual. Dendrit sel bipolar bersinaps dengan sel fotoreseptor dan sel horizontal. Akson sel bipolar bersinaps dengan sel ganglion dan sel amakrin. Sel bipolar menyampaikan informasi dari sel horizontal, amakrin dan ganglion. Sementara itu, sel bipolar menerima umpan balik dari sel amakrin. Sel amakrin

berperan penting dalam modulasi informasi yang mencapai sel ganglion. Prosesusnya membentuk sinaps kompleks dengan akson dan sel bipolar. Neuron interpleksiform ditemukan di antara lapisan sel amakrin, dan merupakan presinaps dari sel bipolar batang atau sel bipolar kerucut pada lapisan pleksiform eksterna. Prosesusnya meluas ke kedua lapisan sinaptik, dan menyampaikan informasi antar lapisan.¹⁵

Sel fotoreseptor membentuk sinaps dengan sel bipolar dan sel horizontal pada lapisan pleksiform eksterna. Bagian yang paling distal dari lapisan pleksiform eksterna didominasi oleh serat bagian dalam sel fotoreseptor, sementara dendrit dari sel bipolar dan horizontal, bersama dengan sel Müller terdapat di bagian paling dalam dari lapisan ini.¹⁵

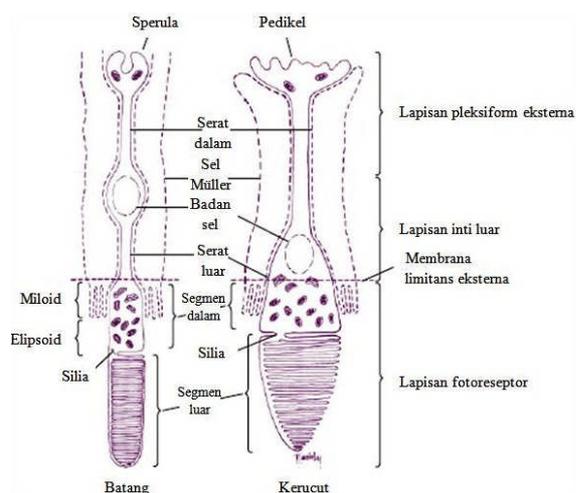
Lapisan inti luar mengandung badan sel fotoreseptor batang dan kerucut. Badan sel batang lebih banyak di bagian perifer, sementara badan sel kerucut lebih banyak di retina bagian sentral. Lapisan inti luar paling tebal di bagian fovea (50 μm , berisi sekitar 10 baris inti sel kerucut) dan secara progresif menipis di bagian perifer.¹⁵

Membrana limitans eksterna terbentuk oleh tautan rapat antara sel Müller dan sel fotoreseptor segmen dalam. Lapisan ini berfungsi sebagai sawar diantara ruang subretina sampai segmen dalam dan luar fotoreseptor, lalu bergabung mendekati lapisan epitel berpigmen di belakang retina dan neuroretina yang sebenarnya.¹⁵

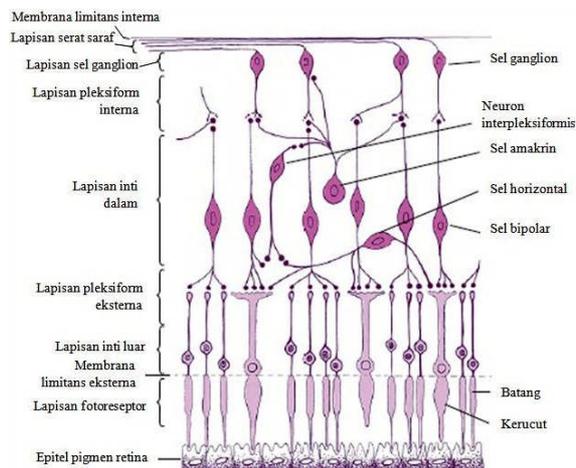
Lapisan fotoreseptor tersusun atas segmen luar dan dalam dari sel batang dan kerucut. Segmen fotoreseptor bagian luar khusus berfungsi menangkap cahaya dan menerima dukungan fungsional dari sel EPR yang berada langsung di luar segmen tersebut. Sel batang dan kerucut merupakan sel yang mengandung fotopigmen yang berfungsi untuk menyerap foton cahaya. Sel batang aktif dalam pencahayaan redup sementara sel kerucut aktif dalam kondisi yang cukup

terang. Pigmen visual dalam fotoreseptor diaktifkan pada perangsangan cahaya. Plasmalema pada sel batang merupakan bagian yang terpisah dari membrana diskus, kecuali pada bagian dasar dimana invaginasi membentuk diskus. Pigmen fotosensitif rodopsin terdapat di dalam membrana diskus. Plasmalema adalah bagian yang menutupi segmen luar dari fotoreseptor. Plasmalemma sel kerucut berkontinu dengan membran, membentuk sebagian diskus, sehingga diskus tidak mudah lepas satu sama lain. Bagian segmen luar lebih pendek dibanding sel batang dan tidak dapat mencapai lapisan EPR (gambar 5).¹⁵

Epitel pigmen retina merupakan lapisan tunggal tebal. EPR terdiri dari sel-sel heksagonal berpigmen. Sel lebih besar dan lebih kuboid pada bagian yang dekat dengan ora serrata, merupakan transisi ke epitel berpigmen dari badan silier. Fungsi utamanya ialah sebagai sawar, transportasi ion, dan fagositosis. Sel ini mengandung melanosom yang memanjang dari daerah apikal ke bagian tengah sel, mengaburkan nukleolus di daerah basal. Bagian apikal terdiri dari mikrovili yang meluas ke lapisan fotoreseptor.⁽¹⁾



Gambar 5. Sel fotoreseptor.¹⁵



Gambar 6. Sel retina dan sinaps-sinapsnya.¹⁵

Daftar Pustaka

1. Sharma RK, Ehinger BEJ. Development and structure of the retina. In: Kaufman PL, Alm A, editors. Adler's physiology of the eye. 10th ed. Philadelphia: Mosby; 2003. p. 319-47.
2. Riordan-Eva P. Anatomy and embryology of the eye. In: Riordan-Eva P, Whitcher JP, editors. Vaughan & asbury's general ophthalmology. 17th ed. New York: Lange Medical Books/McGraw-Hill; 2008. p. 1-27.
3. Reh TA, Moshiri A. The development of the retina. In: Ryan SJ, editor. Retina. 4th ed. Philadelphia: Elsevier Mosby; 2006. p. 3-21.
4. Barishak YR, Spierer A. Embryology of the retina and developmental disorders. In: Hartnett ME, editor. Pediatric retina. 1st ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2005. p. 3-12.
5. Sadler TW. Mata. In: Sadler TW, editor. Embriologi kedokteran langman. 7th ed. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC; 2000. p. 358-61.
6. Moore KL, Persaud TVN. The eye and ear. In: Moore KL, Persaud TVN, editors. The developing human-clinically oriented embryology. 7th ed. Philadelphia: Saunders; 2003. p. 466-76.
7. Forrester JV, Dick AD, McMenamin PG, Lee WR. Embryology and early

- development of the eye and adnexa. In: Forrester JV, Dick AD, McMenamin PG, Lee WR, editors. *The eye basic science in practice*. 2nd ed. Edinburgh: W.B. Saunders; 2002. p. 99-129.
8. Cook C, Sulik KK, Wright KW. Embryology. In: Wright KW, Spiegel PH, editors. *Pediatric ophthalmology and strabismus*. 2nd ed. New York: Springer; 2003. p. 3-38.
 9. American Academy Of Ophthalmology. Growth and development of the eye. In: American Academy Of Ophthalmology, editor. *Pediatric ophthalmology and strabismus*. 1st ed. San Francisco: American Academy of Ophthalmology; 2010-2011. p. 167-72.
 10. Eustis HS, Guthrie ME. Postnatal development. In: Wright KW, Spiegel PH, editors. *Pediatric ophthalmology and strabismus*. 2nd ed. New York: Springer; 2003. p. 39-53.
 11. Adams DL. Normal and abnormal visual development. In: Taylor D, Hoyt CS, editors. *Pediatric ophthalmology and strabismus*. 3rd ed. Philadelphia: Elsevier Saunders; 2005. p. 9-22.
 12. American Academy Of Ophthalmology. Embryology. In: American Academy Of Ophthalmology, editor. *Fundamentals and principles of ophthalmology*. 1st ed. San Francisco: American Academy Of Ophthalmology; 2010-2011. p. 113-43.
 13. Møller HU. Milestones and normative data. In: Taylor D, Hoyt CS, editors. *Pediatric ophthalmology and strabismus*. 3rd ed. Philadelphia: Elsevier Saunders; 2005. p. 32-42.
 14. Snell RS, Lemp MA. The anatomy of the eyeball as seen with the ophthalmoscope, slit lamp, and gonioscope. In: Snell RS, Lemp MA, editors. *Clinical anatomy of the eye*. 2nd ed. Abingdon: Blackwell Science; 1998. p. 214-30.
 15. Remington LA. Retina. In: Hart CM, editor. *Clinical anatomy of the visual system*. 1st ed. Missouri: Elsevier; 2005. p. 55-86.
 16. American Academy Of Ophthalmology. The eye. In: American Academy Of Ophthalmology, editor. *Fundamentals and principles of ophthalmology*. 1st ed. San Francisco: American Academy Of Ophthalmology; 2010-2011. p. 41-85.