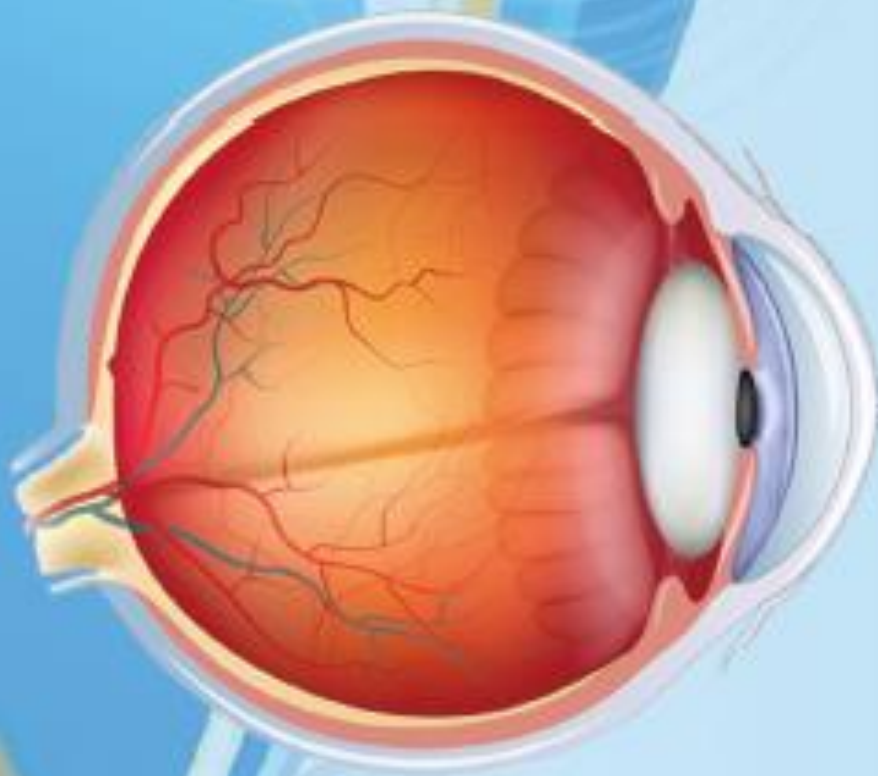




KOMPREHENSIF RETINA



ANDI MUHAMMAD ICHSAN

KOMPREHENSIF RETINA

Andi Muhammad Ichsan



KOMPREHENSIF RETINA

Penulis

Andi Muhammad Ichsan

Desain Sampul

Basuki Hariyanto

Tata Letak

Muhammad Ihtasul Amal

ISBN 978-979-530-333-6

Cetakan I 2021

Penerbit

Unhas Press

Keanggotaan

IKAPI Nomor: 002/SSL/01

APPTI Nomor: 005.026.1.03.2018

Alamat Penerbit

Gedung UPT Unhas Press, Kampus Unhas Tamalanrea
Jalan Perintis Kemerdekaan KM 10, Makassar, Sulawesi Selatan
HP/WA: +62 8229 9555 591 — Email: unhaspress@gmail.com
Laman: unhaspress.unhas.ac.id

Hak Cipta ©Andi Muhammad Ichsan. *All rights reserved.* Hak cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak isi buku ini, baik sebagian maupun seluruhnya dalam bentuk apapun tanpa izin tertulis dari penulis/penerbit.

DAFTAR ISI

CHAPTER 1	
ANATOMI DAN FISILOGI RETINA	2
I. EMBRIOLOGI RETINA	3
II. ANATOMI RETINA	7
A. TOPOGRAFI RETINA	11
B. VASKULARISASI RETINA	26
III. FISILOGI RETINA	27
A. FUNGSI IMUN	28
B. BLOOD RETINAL BARRIER	29
C. SIKLUS VISUAL	29
D. TRANSPOR TRANS-EPITELIAL	31
E. FOTOTRANSDUKSI	32
F. PENGLIHATAN WARNA	35
G. AUTOREGULASI RETINA	36
H. AUTOREGULASI TEKANAN	38
I. AUTOREGULASI METABOLIK	38
IV. PENUTUP	38
CHAPTER 2	
PEMERIKSAAN DASAR RETINA	43
I. SEJARAH PERKEMBANGAN FUNDUSKOP.....	44
II. JENIS-JENIS FUNDUSKOP MODERN	49
A. FUNDUSKOP DIREK	49
B. FUNDUSKOPI INDIREK	55
C. METODE INDENTASI SKLERA	66
D. APERTURA DAN FILTER	69
E. SLIT LAMP BIO-MICROSCOPY	70
METODE PENGGUNAAN SLIT LAMP BIO-MICROSCOPY	71
G. PEMERIKSAAN SEGMENT POSTERIOR BOLA MATA (FUNDUS)	72
H. FUNDUS DRAWING	73
I. PENUTUP	75
DAFTAR PUSTAKA.....	77

CHAPTER 3

PEMERIKSAAN PENUNJANG PADA RETINA	79
I. ULTRASONOGRAFI OKULER	79
A. PRINSIP ULTRASONOGRAFI	83
B. KOMPONEN ULTRASONOGRAFI	87
C. INSTRUMEN ULTRASONOGRAFI	88
D. INDIKASI PEMERIKSAAN ULTRASONOGRAFI	91
1) A scan	91
2) USG <i>B scan</i>	91
E. TEKNIK PEMERIKSAAN USG	92
F. INTERPRETASI ULTRASONOGRAFI	99
G. ARTEFAK PADA ULTRASONOGRAFI	102
H. GAMBARAN PATOLOGIS PADA USG	107
1) Kelainan pada Korpus Vitreus	108
2) Kelainan pada Retina	112
3) Kelainan pada Koroid	115
4) Kelainan pada Sklera	116
5) Kelainan pada Korpus Siliaris	117
6) Kelainan pada Nervus Optik	117
KESIMPULAN	121
II. FUNDUS FLUORESCEIN ANGIOGRAPHY (FFA)	123
A. PENILAIAN FLUORESCEIN ANGIOGRAFI	130
B. KELEMAHAN TEKNIK PEMERIKSAAN FFA	134
A. PRINSIP KERJA OCT	137
B. RESOLUSI GAMBAR	140
C. Jenis Optical Coherence Tomography	141
D. OCT SEGMENT POSTERIOR BOLA MATA	144
E. GAMBARAN OCT RETINA NORMAL	145
F. GAMBARAN OCT SEGMENT POSTERIOR DALAM BERBAGAI POTONGAN	147
G. INTERPRETASI GAMBAR OCT SEGMENT POSTERIOR	149
III. OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY ANGIOGRAPHY	164
1) Prinsip teknis dan pengolahan gambar OCTA	165
2) Pengolahan gambar OCTA	165
3) PENILAIAN OCT ANGIOGRAFI	169

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Ringkasan kronologis perkembangan embriologi retina.....	5
Tabel 2. Terminologi anatomi makula	12
Tabel 3. Perbedaan struktur Rod dan cones.....	16
Tabel 4. Rangkuman perbedaan bentuk dan fungsi funduskopi.	65
Tabel 5. Persentasi kategori spike	84
Tabel 6. Perbandingan kecepatan rambat gelombang suara.....	85
Tabel 7. Penggunaan USG okuler	92
Tabel 8. Perbandingan posisi probe dengan daerah yang dievaluasi	96
Tabel 9. Hasil pengukuran dari A scan dan contoh	100
Tabel 10. Studi reflektifitas interpretasi OCT.....	154
Tabel 11. Perbandingan pemeriksaan FFA dan OCTA	154

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skema lapisan retina. ⁴	3
Gambar 2. Anatomi Retina. ⁶	7
Gambar 3. Retinal Pigmen Epithelium	9
Gambar 4. Lapisan retina dan komponen pembentuknya.	10
Gambar 5. Gambar fundus normal dengan pembagian areanya. ^{3,7}	13
Gambar 6. Ora Serrata.....	15
Gambar 7. Perbandingan struktur sel rod dan cones. ⁵	16
Gambar 8. Segmen luar sel rod dan cone.....	18
Gambar 9. Rod spherule dan cone pedicle di lapisan pleksiform luar. ..	18
Gambar 10. Sel horizontal. ⁹	20
Gambar 11. Sel Amakrin. ¹⁰	21
Gambar 12. Sel ganglion retina. ⁶	22
Gambar 13. Skema sel Muller. ¹⁰	23
Gambar 14. Lapisan retina dengan sel Muller yang mengisi dan menyangga struktur retina.	23
Gambar 15. Potongan melintang pembuluh darah retina. ¹²	25
Gambar 16. Pembuluh darah retina sentralis di dalam nervus optik. ...	26
Gambar 17. Reaksi intraseluler pada metabolisme retinoid. (LRAT : lecithin retinol acyl transferase); arat, acyl coa: retinyl acyl transferase.	30
Gambar 18. Transpor epitel dan regulasi pH pada retina. (CIC-2, voltage-dependent Ci channels dari CIC family; CFTR: cystic fibrosis transmembrane sebagai regulator: Kir inwardly rectifying K ⁺ channel 71: max-K large conductance Ca-dependent K ⁺ channel: MCT1, monocarboxylate transporter 1; MCT3, monocarboxylate transporter 3).	31
Gambar 19. Alur aktivasi fototransduksi. ¹¹	34
Gambar 20. Variasi sensitivitas warna pada sel cones. ¹¹	36
Gambar 21. Funduskop pertama oleh Helmholtz.	44
Gambar 22. Funduskop pertama kreasi Dr. William Denner.	45
Gambar 23. Instrumen Theodor Ruete dengan metode funduskopi indirek.	46
Gambar 24. Funduskopi John Couper.....	46
Gambar 25. Funduskopi indirek binokular edisi pertama.	47
Gambar 26. Charles Schepens dengan funduskopi indirek binocular buatannya.	48
Gambar 27. Funduskopi Panoptik.....	48
Gambar 28. Funduskopi Direk ko-aksial.....	49

Gambar 29. Metode iluminasi pada funduskop direk.	50
Gambar 30. Posisi dan jarak pemeriksaan funduskop direk ko-aksial. ..	51
Gambar 31. Pengaturan lensa pada pemeriksaan funduskop direk.	52
Gambar 32. Bagian-bagian alat funduskop.	52
Gambar 33. Struktur funduskop direk.	53
Gambar 34. Metode penggunaan funduskop direk panoptik.	54
Gambar 35. Perbedaan funduskop direk koaksial dan funduskop direk panoptik.	55
Gambar 36. Prinsip optik dari funduskop indirek monokular.	56
Gambar 37. Monocular indirek ophthalmoskop.	56
Gambar 38. Pemeriksa dengan posisi yang benar, yaitu dengan ibu jari berada pada focusing lever.	57
Gambar 39. Iluminasi fundus dan condensing lens.	58
Gambar 40. Pembentukan aerial image.	59
Gambar 41. Aerial image.	59
Gambar 42. Bayangan retina perifer yang gelap jika jarak cahaya lensa dijauhkan.	60
Gambar 43. Gambaran ideal fundus yang memenuhi seluruh lensa kondensasi.	60
Gambar 44. Observasi binokuler.	61
Gambar 45. Posisi mata pada pemeriksaan funduskopi inderik binokular.	63
Gambar 46. Menilai fokus cahaya dengan cara mengatur jarak pupil pemeriksa.	64
Gambar 47. Lensa Kondensasi.	64
Gambar 48. Posisi tangan saat memegang lensa kondensasi.	65
Gambar 49. Arah mata pasien pada pemeriksaan funduskopi menggunakan lensa kondensasi.	65
Gambar 50. Teknik pemasangan indentor pada jari.	66
Gambar 51. Prosedur indentasi sklera.	67
Gambar 52. Tampilan visualisasi robekan pada retina yang lebih jelas.	68
Gambar 53. Gambaran sebelum dan setelah dilakukan dilatasi pupil. ..	68
Gambar 54. Ukuran cahaya pada funduskop.	69
Gambar 55. Segmen posterior pada bola mata.	72
Gambar 56. Kode warna pada fundus drawing.	73
Gambar 57. Fundus Chart.	74
Gambar 58. Teknik fundus drawing.	75
Gambar 59. an bola mata pada pemeriksaan USG.	82
Gambar 60. Aksial colour Doppler sonogram menunjukkan normal arteri retina sentralis (CRA).	83
Gambar 61. Perbandingan resolusi dengan penetrasi pada frekuensi transduser ultrasound yang berbeda. ¹³	84

Gambar 62. Komponen Elektronik USG B scan. ¹⁵	88
Gambar 63. Alat dan komponen dasar USG A-Scan.....	89
Gambar 64. Alat USG A/B scan.	91
Gambar 65. Posisi probe dengan ilustrasi gerakan yang rotasional (pada 8 meridian).	93
Gambar 66. Pemeriksaan A scan dengan posisi probe limbus arah jam 6, forniks, dan perpendikular terhadap retina yang bersebrangan. ²⁰	93
Gambar 67. Posisi probe pada pemeriksaan B scan. ⁵	95
Gambar 68. Pergerakan probe dari limbus ke forniks. ⁶	96
Gambar 69. B scan pada mata kanan potongan aksial vertical.	97
Gambar 70. B scan pada mata kanan potongan aksial horizontal.	97
Gambar 71. Posisi probe pada USG B scan	97
Gambar 72. Probe B scan longitudinal pada mata kanan.....	98
Gambar 73. Tampilan normal dari A scan.	99
Gambar 74. Gambaran echo dari mata normal.	101
Gambar 75. Background noise (snow).	103
Gambar 76. Penggaungan suara pada USG.....	104
Gambar 77. Artefak pembayangan pada USG.	105
Gambar 78. Dentuman Baum.	106
Gambar 79. Perbandingan hasil USG pada perempuan yang miop anisometrop kronik pada mata kanan.	107
Gambar 80. Gambaran USG katarak dan dislokasi lensa.	108
Gambar 81. Posterior vitreous detachment (PVD).....	109
Gambar 82. . Perdarahan Vitreus yang baru dan yang lama.	110
Gambar 83. Gambaran sel-sel inflamasi pada B scanpada kasus Endoftalmitis/Vitritis.	111
Gambar 84. Gambaran USG Endofthalmitis.....	111
Gambar 85. Gambaran USG Asteroid hyalosis.	112
Gambar 86. Gambaran USG Retinal detachment.	113
Gambar 87. Vitreous Expander.	113
Gambar 88. USG area Makula.....	114
Gambar 89. USG pada keganasan mata. A) Retinoblastoma dengan kalsifikasi, B) PHPV ¹	115
Gambar 90. Choroidal detachment.	116
Gambar 91. Gambaran USG pada sclera.	117
Gambar 92. Gambaran USG pada Nervus optik.	118
Gambar 93. Gambaran USG pada papil N.optik.	119
Gambar 94. Dehisiensi sklera pada trauma okuli.	119
Gambar 95. Dislokasi posterior lensa ke kavum vitreus.	120
Gambar 96. Gambaran USG Haemophthalmos.....	120
Gambar 97. Intraocular Foreign Body (IOFB).	121
Gambar 98. Skema fundus fluoresein angiografi (FFA).	123

Gambar 99. Skema lapisan anatomi retina.	124
Gambar 100. Blood retinal barrier.	126
Gambar 101. Outer Blood-Retinal Barrier.	127
Gambar 102. Vaskularisasi Orbita.	129
Gambar 103. Masuknya fluoresein ke sirkulasi retina dan koroid.	131
Gambar 104. Empat fase pada angiogram fluoresein.	132
Gambar 105. Gambaran fase normal FFA.	135
Gambar 106. Ringkasan Interpretasi FFA.	136
Gambar 107. Prinsip kerja OCT untuk pemeriksaan mata.	139
Gambar 108. Diagram skematik dari sistem OCT untuk pemeriksaan mata.	139
Gambar 109. Perbedaan warna pada gambar OCT.	140
Gambar 110. Pengukuran gambar menggunakan OCT.	141
Gambar 111. Perbedaan 2D OCT dan 3D OCT.	142
Gambar 112. 3D OCT Volume Rendering.	143
Gambar 113. Custom 5 line Raster Scan.	143
Gambar 114. High Definition Cross Scan.	144
Gambar 115. Optic imaging pada pemeriksaan OCT.	145
Gambar 116. Gambaran OCT Papillomacular Axis.	145
Gambar 117. Gambaran OCT Fovea.	147
Gambar 118. Tomogram OCT potongan sagital pada makula normal. ...	148
Gambar 119. Gambaran OCT diskus optik.	148
Gambar 120. Tomogram OCT sirkular peripapil.	149
Gambar 121. Gambaran OCT Edema Makula.	150
Gambar 122. Gambaran OCT Epiretinal Membrane.	150
Gambar 123. Gambaran OCT Macular Hole.	151
Gambar 124. Gambaran OCT Cystoid Macular Edema.	152
Gambar 125. Gambaran OCT Hard exudate.	152
Gambar 126. Gambaran OCT RPE Detachment.	153
Gambar 127. Gambaran OCT Serous Retinal Detachment.	153
Gambar 128. Gambaran OCT Choroidal neovaskuler membrane.	153
Gambar 129. Gambaran OCT Pre-retina, Epiretina, Intraretina, dan Sub Retina.	153
Gambar 130. Lembar laporan hasil pemeriksaan OCT.	155
Gambar 131. OCT tomogram pada pasien cystoid macular edema.	156
Gambar 132. Tomogram OCT pada hemorrhagic detachment.	157
Gambar 133. Tomogram OCT pada kasus neurosensory retinal detachment.	158
Gambar 134. Serous detachment dari RPE.	158
Gambar 135. Perbandingan antara idiopathic full-thickness macular hole.	159
Gambar 136. Tomogram OCT pada Neovaskularisasi koroid.	160

Gambar 137. Lembar hasil Pemeriksaan RNFL.	161
Gambar 138. Lembar hasil pemeriksaan Papil Nervus Optik.	162
Gambar 139. Lembar hasil scan ganglion cell inner plexiform layer. ..	163
Gambar 140. Jenis alat OCT-A.....	165
Gambar 141. Tampilan gambar hasil angiografi makula.	166
Gambar 142. Segmentasi dan Pemrosesan OCTA.	167
Gambar 143. OCTA pasien dengan Retinopati diabetik.	168
Gambar 144. Korioretinopati serosa.	168
Gambar 145. Penilaian OCTA pada bagian retina dalam (System Optovue's AngioVue).....	169
Gambar 146. Penilaian OCTA pada bagian retina tengah (System Optovue's AngioVue).	170
Gambar 147. Penilaian OCTA pada bagian retina tengah (System Optovue's AngioVue).	170
Gambar 148. Penilaian OCTA pada bagian khoriokapillaris (System Optovue's AngioVue).	171

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas kasih sayang yang diberikan kepada kita semua sehingga kita dapat terus mengembangkan diri dan menimba ilmu tanpa henti. Ucapan selamat kami ucapkan atas keberhasilan dan kerja keras tim penulis buku “KOMPREHENSIF RETINA” atas pencapaian dan dedikasinya dalam mendorong peningkatan kualitas pembelajaran dan pengembangan ilmu kedokteran khususnya dalam bidang Ilmu Kesehatan Mata.

Sebagai salah satu Universitas berbadan hukum dengan Fakultas Kedokteran yang terakreditasi “A” menurut Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi (BAN-PT), Universitas Hasanuddin dalam hal ini Fakultas Kedokteran memiliki tanggung jawab penuh untuk bisa menyelenggarakan suatu kegiatan pendidikan kedokteran secara paripurna. Hal ini dapat diwujudkan dengan melakukan evaluasi kurikulum secara berkala, *upgrading* kualitas tim pengajar serta meningkatkan fasilitas penunjang seperti buku, ruang laboratorium dan berbagai sarana dan prasarana lain yang bertujuan untuk membekali peserta didik dengan pengetahuan menyeluruh di bidang kedokteran hingga melahirkan dokter-dokter dengan kualitas bintang lima (“*five star doctors*”).

Dalam penerapan proses belajar, fasilitas penunjang seperti buku cetak, modul, panduan klinik, makalah ilmiah atau berbagai instrumen serupa, sampai dengan saat ini masih dijadikan sebagai pilihan utama oleh peserta didik di tingkat Universitas. Pemahaman mengenai metodologi dan penerapan ilmu dasar sangat berguna bagi dokter agar lebih kreatif, inovatif dan efisien dalam menangani berbagai keadaan klinis dan mampu membuat keputusan berkualitas untuk kebaikan pasien. Di sisi lain, kita tetap tidak boleh menutup mata bahwa saat ini perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sedang sangat berkembang, sehingga civitas akademika dalam hal ini mahasiswa dan dosen harus terus giat mendorong

pengembangan diri misalnya dengan memanfaatkan teknologi media komputer sebagai penyokong meningkatnya mutu pendidikan dalam bidang kedokteran.

Hadirnya buku “KOMPREHENSIF RETINA” yang berisi penjelasan mengenai organ retina secara holistik ini memberikan harapan baru khususnya bagi mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin bahwa proses pengembangan ilmu dan proses pembelajaran tersebut masih terus berlangsung. Besar harapan kami bahwa peluncuran buku ini akan menjadi kontribusi dalam menghasilkan dokter-dokter yang berkualitas.

Sebagai penutup, semoga buku ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang ingin belajar dan mendalami ilmu kedokteran, khususnya dalam Ilmu Kesehatan Mata.

Makassar, Juni 2021

Dekan Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin

Prof. dr. Budu, Ph.D, M.MedEd, Sp.M (K)

PRAKATA PENULIS

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa atas kekuatan, berkat dan petunjuk yang telah diberikan kepada penulis sehingga buku “KOMPREHENSIF RETINA” ini dapat terselesaikan. Penulisan buku ini diawali sejak pertengahan tahun 2020 dalam bentuk tulisan ilmiah sederhana yang kemudian dianalisis, direvisi, dan disempurnakan secara seksama sehingga akhirnya dapat disatukan dalam penjabaran yang komperhensif.

Buku ini terdiri dari tiga bagian utama yang diperuntukkan guna menunjang pemenuhan kompetensi bagi para peserta didik baik mahasiswa program pendidikan dokter (MPPD) maupun peserta program pendidikan dokter spesialis (PPDS). Buku “KOMPREHENSIF RETINA” ini disusun sedekat mungkin dengan segmentasi pembaca yang mencakup penjelasan holistik mengenai anatomi dan fisiologi retina, anamnesis dan pemeriksaan dasar retina serta pemeriksaan penunjang pada retina. Ketiga pokok bahasan ini diharapkan akan memudahkan sejawat dokter baik di fasilitas kesehatan primer maupun pada fasilitas kesehatan lanjutan untuk dapat menindaklanjuti keluhan penyakit di bidang oftalmologi.

Pembahasan dalam buku ini dimulai dengan menampilkan tujuan dan sasaran pembelajaran yang diharapkan kemudian dilanjutkan dengan pembahasan secara komperhensif mengenai turunan topik dalam bab yang dikaji. Suatu kesyukuran bagi penulis bahwasanya buku ini memiliki kelebihan berupa dituliskannya “*IC’s note (Catatan Ichsan)*” sebagai tambahan kolom kata kunci atau kalimat utama sebagai bagian dari substansi terpenting dalam setiap pembahasan. Buku ini juga dilengkapi dengan halaman index yang akan memudahkan pembaca dalam menemukan kata kunci utama dalam topik.

Sebagai tindak lanjut dan pengembangan di masa yang akan datang, penulis berkeinginan sangat besar untuk dapat terus memperbaharui isi dan substansi dari buku ini seiring dengan majunya penelusuran dan pengkajian di bidang vitreoretina.

Akhirnya, penulis tak lupa mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam menyusun buku ini, mulai dari tim penyusun, tim editor, tim pengarah dan seluruh staf departemen serta tenaga pendidikan yang terlibat sangat intens dalam proses pembuatan buku ini. Mengingat banyaknya keterbatasan dalam penulisan buku ini, penulis dengan kerendahan hati mengharapkan masukan untuk penyempurnaan buku ini di masa depan.

Makassar, Juni 2021

Penulis,

dr.Andi Muhammad Ichsan, Ph.D, Sp.M (K)



CHAPTER I

ANATOMI DAN FISIOLOGI RETINA

NURUL MAGFIRAH RUSLI SUMARA,
ANDI AFDAL DZUHRY, A.M. ICHSAN

CHAPTER 1

ANATOMI DAN FISILOGI RETINA

Nurul Magfirah Rusli Sumara, Andi Afdal Dzuhry, A.M. Ichsan

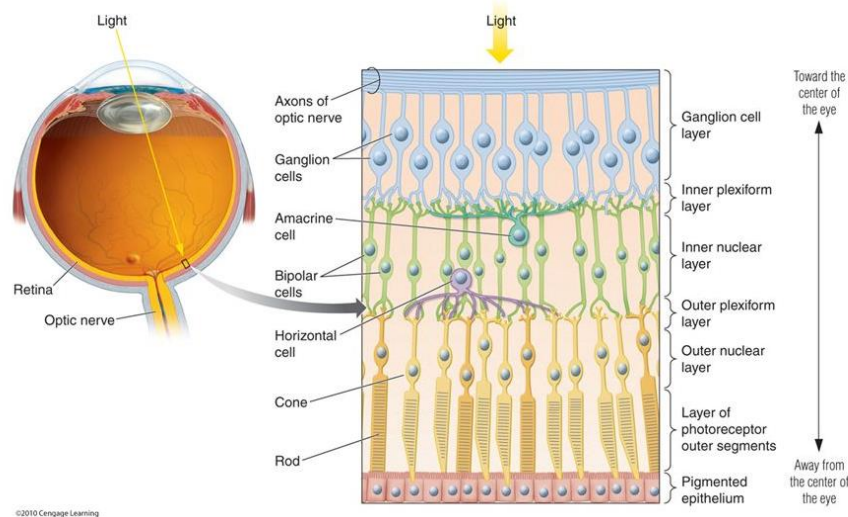
Retina adalah membran yang sangat tipis dan transparan pada bagian dalam bola mata. Akhir-akhir ini ketertarikan untuk mengenal anatomi retina semakin besar dikarenakan pentingnya fungsi retina terhadap sistem penglihatan. Herophilus of Chalcedon (3000 SM) merupakan yang pertama kali menggambar retina. Nama retina diberikan oleh Rufos of Ephesus (110 M), dinamakan demikian oleh karena penampakkannya yang berbentuk jala yang melekat pada vitreus. Dengan mengesampingkan pengamatan awal terhadap kemiripan struktur antara retina dengan otak, pada masa itu perhatian terhadap retina ditujukan pada vaskularisasinya yang unik dan hubungannya dengan nervus optik, hingga Kepler (1608) memperkenalkan konsep retina sebagai jaringan fotoreseptor utama pada mata.¹

Retina merupakan suatu struktur yang sangat terorganisasi, dengan kemampuan untuk memulai pengolahan informasi penglihatan sebelum informasi tersebut ditransmisikan melalui nervus optik ke korteks visual. Struktur yang berlapis-lapis memungkinkan lokalisasi fungsi atau gangguan fungsional pada suatu lapisan atau sekelompok sel.²

Struktur transparan tipis pada retina, merupakan hasil perkembangan dari lapisan *inner* dan *outer layer* dari *optic cup*. Pada potongan melintang, lapisan-lapisan dari luar ke dalam retina terdiri atas³ :

1. RPE dan lamina basalis
2. Segmen luar dan dalam Rods dan cones
3. Membran Limitans externa
4. Lapisan inti luar (nuclei fotoreceptors)
5. Lapisan plexiform luar
6. Lapisan inti dalam

7. Lapisan plexiform dalam
8. Lapisan sel ganglion
9. Lapisan serabut saraf (sel axon ganglion)
10. Membran limitan interna.



Gambar 1. Skema lapisan retina.⁴

I. EMBRIOLOGI RETINA

Retina berasal dari lapisan sel-sel neuroektodermal dari optic cup. Pada awal bulan ke-2 masa gestasi perkembangan retina dimulai, dimana perkembangan embrional retina mulai berpisah dengan vesikel optik, lapisan luar dari *optic cup* akan berevolusi menjadi satu lapisan sel, yakni *retinal pigment epithelium* sedangkan lapisan bagian dalam yang terlipat akan membentuk neurosensori retina.^{1,3,5}

Neuroepithelium merupakan tahap pertama perkembangan dari satu lapis sel vesikel optik menjadi retina dewasa dimulai dengan diferensiasi sel-sel vesikel optik menjadi dua lapis jaringan. Tahapan perkembangan ini dimulai bersamaan dengan proses invaginasi vesikel optik pada embrio 4 mm. Proses mitosis yang banyak muncul di tepi vesikel optik diperlihatkan oleh selapis sel endodimal selama proses ini berlangsung. Aktivitas mitosis diproduksi 3 sampai 4 baris sel dalam satu bulan masa gestasi dengan jumlah sel yang meningkat dengan cepat. *Primitive zone* dibentuk oleh nukleus yang memisahkan 2/3 bagian retina

luar terhadap *optic cup*, sedangkan 1/3 bagian dalam retina yang pada awalnya tidak memiliki *nucleus* disebut *inner marginal zone*, dan akhirnya berdiferensiasi menjadi lapisan serabut saraf. *Primitive zone* dan *marginal zone* dapat terlihat hanya sampai minggu ke-tujuh masa gestasi. Sel neural dan glia berkembang secara simultan. Pada minggu kelima masa gestasi, sel ganglion dan sel Muller bermigrasi dari lapisan luar sel neuroepitel ke rongga vitreus. Akhirnya, *nucleus* dari sel neuroblastik terpisah menjadi 2 lapis sel yang berbeda, yaitu lapisan neuroblas dalam dan luar. Kedua lapisan ini dipisahkan oleh *transient fiber layer of chievitz*, yang akan menjadi lapisan pleksiform dalam pada minggu 9 dan 12 masa gestasi (kecuali pada makula, yang akan menetap sampai lahir). Pada waktu yang sama, lapisan horizontal utama sudah dapat dibedakan.^{1,3,5}

Pada minggu ke 6 masa gestasi sel-sel ganglion retina merupakan sel yang pertama berdiferensiasi, dimana akson dan dendritnya mulai berkembang. Dikarenakan terjadinya proses apoptosis, jumlah sel ganglion yang awalnya meningkat cepat pada minggu 15 hingga 17 masa gestasi, kemudian mulai berkurang pada minggu 18 hingga 30 masa gestasi. Badan sel ganglion berkembang seiring bertambahnya umur gestasi.^{1,3,5}

Proses perkembangan sel Muller meluas dari lamina basalis vesikel optik menuju ke *optic ventricle*. Seiring dengan perkembangan sel fotoreseptor dan secara morfologis berdiferensiasi menjadi sel *cones*, perkembangan *junctional complex* pada permukaan sel ini dan prosesus sel Muller akan membentuk *membran limitans eksterna*.^{1,3,5}

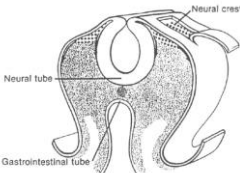

Lapisan fotoreseptor berkembang dari lapisan terluar dari sel neuroblas. Aktivitas mitosis pada lapisan neuroblas luar terjadi pada minggu ke 4 - 12 dan berhenti pada retina bagian sentral pada minggu ke-15 masa gestasi, dan diferensiasi sel cone dimulai pada fovea. Diferensiasi sel cone dimulai pada bulan ke-lima masa gestasi. Pada minggu 14 masa gestasi sel amakrin terlihat pada batas dalam dan luar lapisan neuroblas sedangkan sel bipolar tidak mengalami diferensiasi.

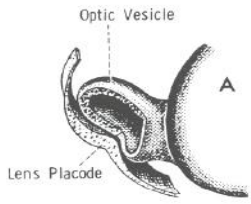
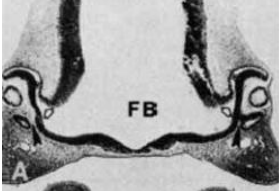
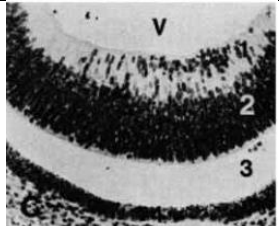
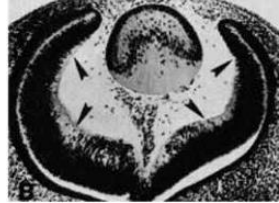
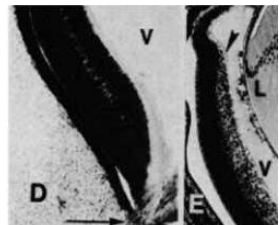
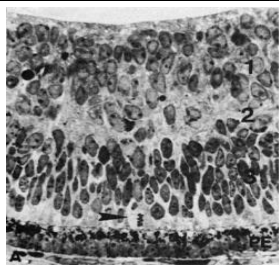
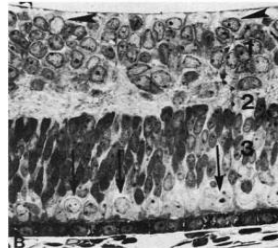
Dendrit sel bipolar meluas dari lapisan pleksiform luar pada minggu 25 masa gestasi, dimana pada saat ini sel horizontal mulai berdiferensiasi.^{1,3,5}

Diferensiasi neuron, sel fotoreseptor dan sel glia pada fovea terjadi lebih awal, karena daerah ini merupakan titik utama dari perkembangan sentraperifer retina. Berbagai tipe sel yang berbeda, sinaps dan *intercellular junction* tampak pada minggu 15 masa gestasi. Penipisan sel ganglion dan lapisan sel nuklear dalam mulai pada minggu 24-26 masa gestasi. Hanya 2 lapisan sel ganglion yang terlihat pada bulan ke-8, dan lapisan *nuclear* dalam pada foveola berkurang menjadi 3 baris sel atau kurang.^(1,3,5)

Diferensiasi *retinal pigment epithelium (RPE)* dimulai pada polus posterior dan berkembang ke anterior oleh karena itu pada minggu ke-8 masa gestasi RPE membentuk satu lapis sel heksagonal kolumnar yang terletak pada bagian posterior. Sel menjadi lebih panjang dan kuboid selama bulan ke-3 dan ke-4, dimana pada tahap ini sel RPE sudah mulai berfungsi. Membrana Basalis dari RPE menjadi bagian dalam membrana *Bruch*, lapisan luar membrana *Bruch* termasuk membran basalis pada bagian koriokapiler.^(1,3,5)

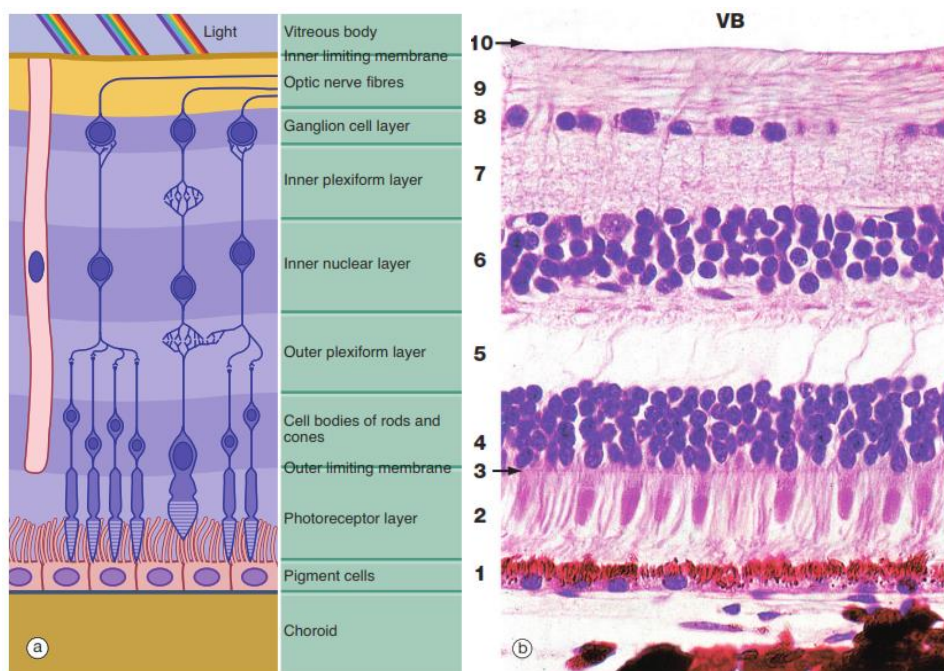
Tabel 1. Ringkasan kronologis perkembangan embriologi retina. ^{1,3}

	<p>Pembentukan <i>optic pits</i> oleh neural ectoderm pada minggu ke-3 masa gestasi.</p>
	<p>Perkembangan sel-sel neural crest ke ventral, menyebabkan pergeseran neural tube dan optic cup ikut bergeser ke ventral.</p>

	<p>Perkembangan optic cup pada embrio 4 mm.</p>
	<p>Embrio 33 hari, retina embrionik terpisah dari bakal RPE.</p>
	<p>Usia 35 hari, terbentuk inner nuclear layer & outer neuroblastic layer.</p>
	<p>Pada 39 hari, pembuluh darah hyoid masuk ke kavitas vitreus untuk mencapai lensa.</p>
	<p>41 hari masa gestasi, lapisan <i>inner</i> dan <i>outer neuroblastic layer</i> dapat dibedakan.</p>
	<p>7 minggu masa gestasi, lapisan <i>inner neuroblastic</i> (1), <i>transient fiber layer of chievitz</i> yang mengandung jaringan penyambung (2), <i>outer neuroblastic layer</i> (3)</p>
	<p>Minggu 10 masa gestasi, sel pada inner neuroblastic layer sudah mulai berdiferensiasi (1), sel ganglion (ujung anak panah) tampak didekat membrana limitans layer of chievitz mengandung substansi yang akan memisahkan kedua lapisan nuclear (2), bakal sel cones (tanda panah), berada diatas lapisan RPE.</p>

II. ANATOMI RETINA

Jaringan transparan yang melekat pada $\frac{3}{4}$ dinding posterior bola mata disebut retina. Retina melebar dari makula di posterior hingga pada sekitar 5 mm dari ekuator anterior yakni *ora serrata* dimana jaringan retina menyatu dengan epitel tak berpigmen dari pars plana korpus siliaris. Jaringan retina melekat longgar dengan lapisan RPE dibawahnya dan dapat dengan mudah dipisahkan pada *specimen postmortem*. Retina melekat kuat pada daerah diskus optikus dan ora serrata. Retina juga melekat pada *vitreous base*.^{1,3}



Gambar 2. Anatomi Retina.⁶

Retina terdiri atas 2 lapisan utama, yaitu lapisan *retinal pigment epithelium* (RPE) di bagian luar, dan lapisan neurosensori di bagian dalam.

A. Retinal Pigment Epithelium (RPE)

RPE adalah selapis sel-sel hexagonal yang tersebar dari diskus saraf optik sampai ke *ora serrata* dimana lapisan ini berbatasan dengan epitel pigmen dari badan siliar. Strukturnya disesuaikan dengan fungsinya, yaitu dalam metabolisme vitamin A, menyeimbangkan sawar darah retina bagian luar, fagositosis segmen luar fotoreseptor,

pertukaran panas, membentuk lamina basalis, produksi matriks polisakarida yang mengelilingi segmen luar dan berperan dalam transport aktif materi-materi yang masuk dan keluar dari RPE.^{2,3,5}

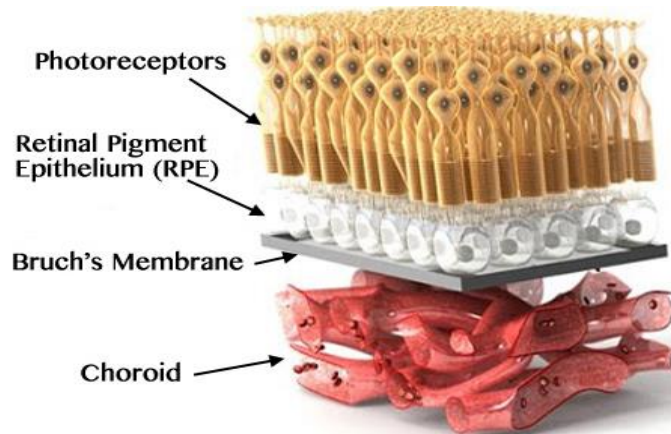
Seperti sel epitel dan endotel lainnya, sel-sel RPE juga terpolarisasi. Permukaan basalnya berlekuk-lekuk dan menyediakan permukaan yang luas sebagai tempat melekatnya lamina basalis yang membentuk lapisan dalam dari membran Bruch. Apeksnya mempunyai tonjolan vili-vili yang berbatasan dengan segmen luar lapisan fotoreseptor, ditautkan oleh matriks mukopolisakarida (matriks inferoreseptor) yang mengandung kondroitin-6-sulfat, asam sialat dan asam hyaluronat. Terpisahnya lapisan RPE dan lapisan neurosensori retina disebut ablasi retina.^{2,3,5}

Sel-sel RPE melekat satu dengan lainnya melalui pertautan interseluler kompleks. Zonula okludens dan zonula adheren tidak hanya berfungsi mempertahankan bentuk dan stabilitas dari struktur RPE, tetapi juga memainkan peranan penting dalam menjaga keseimbangan sawar darah retina bagian luar. Zonula okludens terdiri dari membran plasma yang bersatu membentuk pita sirkular atau sabuk antara satu sel dengan yang lain. Ruang interseluler kecil terdapat diantara zonula adherens.^{2,3,5}

Sel-sel neurosensori dan sel RPE memiliki perbedaan penting pada daerah-daerah tertentu. Sel-sel neurosensori paling tebal pada daerah *papillomacular bundle* dekat dengan saraf optik (0.23 mm) dan paling tipis pada foveola (0.10 mm) dan ora serrata (0.11 mm) sel-sel RPE mempunyai diameter yang bervariasi antara 10-60 μm . Dibandingkan dengan sel-sel RPE yang terletak di daerah perifer, sel-sel RPE di fovea lebih tinggi dan lebih tipis, mengandung lebih banyak melanosom dan melanosomnya sendiri lebih besar.⁵

Karakteristik dari sel-sel RPE ini dapat terlihat pada penurunan transmisi dari fluoresens koroid yang diamati pada proses *fundus fluorescein angiography*. Sel-sel RPE yang terletak di perifer lebih pendek, lebar dan kurang mengandung pigmen. Mata bayi baru lahir mengandung antara 4-6 juta sel-sel RPE, Meskipun permukaan bola mata

meningkat seiring pertambahan usia, peningkatan jumlah sel-sel RPE relatif sedikit. Tidak terlihat proses mitosis dari sel-sel RPE pada mata dewasa normal.^{2,3,5}



Gambar 3. Retinal Pigmen Epithelium

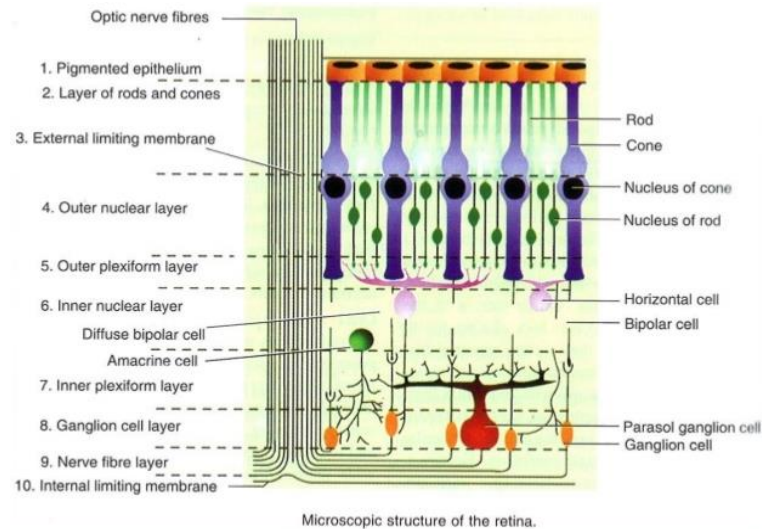
Sitoplasma dari sel-sel RPE mengandung mitokondria, reticulum endoplasma, apparatus golgi dan sebuah nucleus yang bulat dan besar serta mengandung granula-granula pigmen yang bulat dan oval (melanosom). Organel-organel ini berkembang selama pembentukan *optic cup* dan terlihat pertama kali sebagai non-melanin pre-melanosom.³

Seiring dengan pertambahan usia, sisa metabolisme yang tidak terfagositosis sempurna, pigmen lipofuchsin, fagosom dan material-material lain akan diekskresikan oleh RPE dibawah lamina basalis RPE. Hal ini yang menyebabkan terbentuknya drusen. Drusen berada diantara membrana basalis RPE dengan zona kolagen membrana Bruch.³

B. Lapisan Neurosensori Retina

1. Membrana limitans eksterna

Sebenarnya lapisan ini bukan merupakan membran sepenuhnya, melainkan barisan zonula adherens yang menghubungkan segmen dalam sel fotoreseptor dan sel Muller, serta sel Muller satu dengan lainnya.^(3,4)



Gambar 4. Lapisan retina dan komponen pembentuknya.

2. Lapisan nuklear luar

Merupakan lapisan yang ditempati oleh serat dan badan sel fotoreseptor rod dan cone. Khusus di daerah parafovea, lapisan ini hanya mengandung 8-10 lapis inti sel cone.⁴

3. Lapisan pleksiform luar

Lapisan ini dibentuk oleh interkoneksi antara badan sinaptik sel fotoreseptor dengan sel horizontal dan sel bipolar. Lapisan ini lebih tebal dan mengandung lebih banyak serat pada daerah *macula* (sekitar 50 μm), karena akson sel rod dan cone menjadi lebih panjang dan lebih oblik pada saat berdeviasi dari *macula*.^{3,4}

4. Lapisan nuklear dalam

Lapisan nuklear dalam terdiri atas 4 jenis sel, yaitu: sel bipolar, sel horizontal, sel amakrin. Sel horizontal berada pada bagian distal dari lapisan nuklear dalam, sementara sel amakrin terletak di bagian paling proksimal. Nukleus sel bipolar dan sel Muller terletak pada bagian intermediate luar dan intermediate dalam dari lapisan ini.^{3,4}

5. Lapisan pleksiform dalam

Ketebalannya bervariasi antara 18 dan 36 μm dan tidak terdapat pada daerah foveola. Terminal sel bipolar dan dendrit dari sel amakrin dan sel ganglion saling berhubungan pada level yang berbeda di lapisan pleksiform dalam.^{3,4}

6. Lapisan sel ganglion

Sel ganglion terletak diantara lapisan pleksiform dalam dengan lapisan serabut saraf. Di daerah sekitar fovea sentralis terdapat 5-7 lapis sel-sel ganglion dan merupakan lapisan sel ganglion yang paling tebal (80 μm), sedangkan lapisan yang paling tipis terletak pada daerah perifer retina (10 μm).^{3,4}

7. Lapisan serabut saraf

Lapisan ini paling tebal di daerah diskus optik, yaitu sekitar 20-30 μm dan paling tipis di perifer. Akson dari sel ganglion di nasal diproyeksikan langsung ke bagian nasal dari diskus optik.^{3,4}

8. Membrana limitans interna

Lapisan ini bukan merupakan membran sepenuhnya. Lapisan ini dibentuk oleh *footplate* sel Muller dan perlekatan dengan lamina basalis. Tebalnya sekitar 1-2 μm . Membran ini bersatu dengan fibril kolagen vitreus.^{2,4}

IC's note !

- Penampakan histologi sel-sel retina menunjukkan morfologi yang beragam dengan fungsi yang berbeda-beda.
- Kerusakan pada sel-sel ini akan menimbulkan manifestasi klinis berupa penyakit sesuai dengan gangguan fungsi sel-sel tersebut, misalnya: diabetik retinopati, aged related macular degeneration dan retinitis pigmentosa.

A. TOPOGRAFI RETINA

Daerah yang oleh para ahli anatomi disebut sebagai *macula lutea* atau bintik kuning merupakan bagian dari retina yang banyak mengandung

pigmen xantophil atau pigmen kuning daerah *macula*, secara histologis digambarkan sebagai area yang terdiri atas 2 atau lebih lapisan ganglion dengan diameter 5-6 mm dan berada ditengah antara arcade vascular nasal dan temporal.³

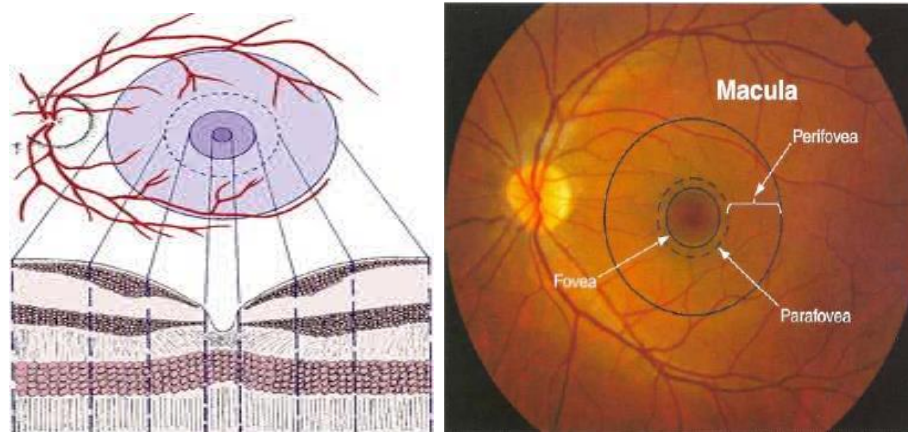
Tabel 2. Terminologi anatomi makula

Istilah	Sinonim	Definisi Histologis	Observasi Klinis (Ukuran)
Makula	Kutub posterior Makula lutea Sentral retina Area sentralis	Batas perifer pada tempat dimana sel ganglion berkurang menjadi lapisan tunggal; mengandung 2 atau lebih lapisan sel ganglion	Area dengan diameter 5,5 mm pertengahan 4 mm temporal dan 0,8 mm inferior ke tengah daripada diskus optikus.
Fovea	Fovea sentralis	Penurunan permukaan retina dalam lapisan fotoreseptor yang semuanya sel kerucut	Penurunan retina bagian tengah yang cekung jika dilihat dengan <i>slit lamp</i> berdiameter 1,5 mm (sekitar 1 diameter diskus atau 5")
Foveola		Lantai sentral dari fovea, dimana lapisan inti dalam lapisan sel ganglion tidak dijumpai	Berdiameter 0,35 mm, kurang lebih sama dengan <i>foveal avascular zone</i>
Umbo	Clivus refleks cahaya	Cekungan sentral kecil dari lantai foveola	Titik terobservasi yang berhubungan dengan refleks cahaya normal tetapi bukan satu-satunya yang bertanggung jawab terhadap refleks cahaya
Zona parafoveal		Batas paling luar, dimana lapisan sel ganglion, lapisan inti dalam dan lapisan Henle adalah yang paling tebal	Cincin dengan lebar 0,5 mm di sekeliling fovea
Zona perifoveal		Dari batas paling luar parafovea ke batas lebih luar dari makula	Cincin dengan lebar 1,5 mm di sekeliling zona parafovea

1. Fovea

Daerah sentral dari *macula*, berukuran $\pm 1,5$ mm di sebut sebagai *fovea* atau *fovea sentralis*, yang secara anatomis dan

komposisi sel fotoreseptornya merupakan daerah dengan spesialisasi untuk ketajaman spasial dan penglihatan warna. Daerah ini memiliki tingkat kepadatan sel cones tertinggi, yakni mencapai $143.000/\text{mm}^3$. Ditengah fovea terdapat struktur khusus, dengan diameter 0.33 mm disebut foveola, daerah ini tidak terdapat sel rods dan blue cones.³ Pada struktur fovea, terdapat daerah yang tidak memiliki vaskularisasi yang disebut *fovea avascular zone* (FAZ). Daerah yang berpusat pada *macula* merupakan daerah penting pada angiografi fluoresensi. Pada bagian tengah fovea di kenal sebagai *foveola*, berukuran diameter 0.35 mm daerah yang berisi sel sel cone ramping yang tersusun rapat.^{1,2,3}



Gambar 5. Gambar fundus normal dengan pembagian areanya.^{3,7}

2. Parafovea

Di sekitar lingkaran fovea, terdapat area dengan ketebalan sekitar 0.5 mm dan diameter total sekitar 2.5 mm disebut *area parofoveol*, terdapat lapisan sel ganglion, lapisan inti dalam, dan lapisan pleksiform luar yang tebal. Di daerah ini pula lapisan plexiform luar mengalami penebalan, yang disebut lapisan henle, dibentuk oleh berlapis lapis axon fotoreseptor dari foveola mengelilingi zona tersebut terdapat lingkaran dengan ukuran 1.5 mm yang kenal dengan *perifoveal zone*. Daerah ini memiliki tingkat kepadatan sel cones yang rendah sekitar $100 \text{ cones}/\text{mm}^2$. Pada daerah ini pula mulai terdapat sel rods dan semakin ke

temporal, tingkat kepadatan rods semakin tinggi hingga mencapai sekitar 170.000/mm².^(1,2,3)

3. Perifovea

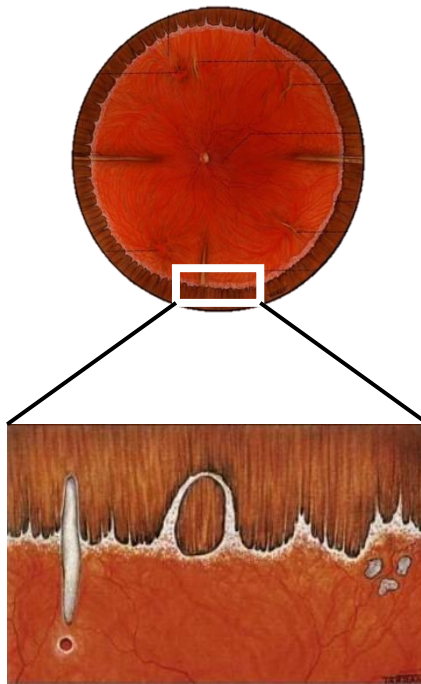
Regio perivovea merupakan lingkaran terluar dari region anatomis sentral retina. Daerah ini dimulai pada titik dimana lapisan sel ganglion memiliki empat baris nuclei dan berakhir di perifer dimana lapisan sel ganglion berkurang menjadi satu lapis sel, yang identik dengan daerah perifer retina. Dari pemeriksaan funduskopi, daerah perivovea merupakan lingkaran diameter 1,25-2,75 mm dari foveola. Daerah perifovea ini berbeda dengan parafovea dikarenakan daerah ini memiliki kepadatan sel cones yang jarang.^{1,2}

4. Diskus optik

Nervus optik meninggalkan retina sekitar 3 mm di sebelah medial *macula* lutea, tepatnya pada diskus optik. Bagian tengah dari diskus optik sedikit terdepresi, dimana daerah ini ditembus oleh arteri dan vena retina sentralis. Pada diskus optik sama sekali tidak terdapat sel rod maupun sel cone, oleh karena itu daerah ini tidak sensitif terhadap rangsangan cahaya dan disebut *blind spot*. Pada pemeriksaan funduskopi, diskus optik terlihat sebagai daerah berwarna pink pucat, lebih pucat dari daerah di sekitarnya.⁽⁵⁾

5. Ora Serrata

Merupakan daerah perbatasan retina. Daerah ini memberikan batas antara hubungan pars optik retina dengan satu lapis epitel non-pigmen dari korpus siliaris. Karakteristik anatomis yang menonjol dari area ini adalah lapisannya yang tipis, kurangnya vaskularisasi dan hubungan yang rapat dengan vitreus base dan *zonula fibers*. Ora serrata ini mendapatkan sebutannya dikarenakan banyaknya takikan pada daerah tepinya yang berbatasan dengan epitel siliaris. Takikan ini dibentuk oleh elongasi jaringan retina kearah epitel siliaris.¹

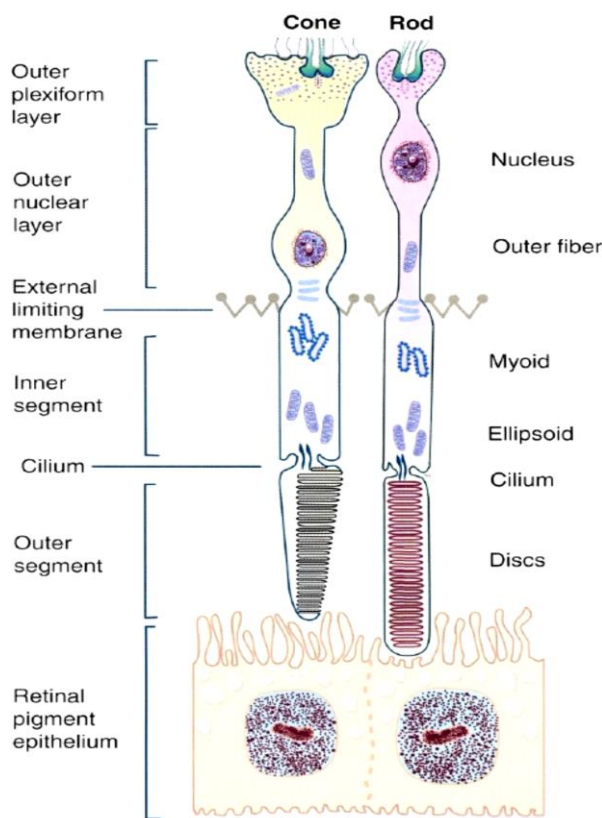


Gambar 6. Ora Serrata

C. Elemen - elemen neurosensori retina

1. Elemen neuronal

Lapisan fotoreseptor mengandung neuroepithel khusus yaitu sel rods dan cones yang setiap selnya mempunyai segmen luar dan segmen dalam. Segmen luar dikelilingi oleh matriks mukopolisakarida yang menyebabkan kontak antara sel fotoreseptor dan tonjolan vili dari RPE. *Tight junction* atau hubungan interseluler lainnya tidak terdapat antara segmen luar sel fotoreseptor dengan RPE, sehingga memungkinkan untuk terjadinya transport aktif dari RPE ke sel fotoreseptor, namun tidak ada penunjang yang menjaga posisi dari pertautan sel-sel ini.^{3,4}



Gambar 7. Perbandingan struktur sel rod dan cones.⁵

Sel rod mempunyai segmen luar yang mengandung keping-keping disk menyerupai koin dan sebuah silium perantara. Segmen dalam dari sel rod terbagi menjadi dua elemen yaitu berada di luar berbentuk elips mengandung banyak mitokondria dan yang berada di dalam berbentuk myoid mengandung banyak glikogen. Elemen myoid ini berlanjut dengan badan sel utama dimana terdapat nukleus. Bagian paling dalam

dari sel rod ini mempunyai badan sinaptik atau *spherule*, dimana struktur ini berbentuk dari invaginasi tunggal yang mempertemukan dua tonjolan sel horizontal dan satu atau lebih dendrit sel bipolar.^{3,4} Sel cones ekstrafovea juga mempunyai elemen berbentuk elips dan myoid. Nukleus dari sel cone ini lebih dekat dengan membrana limitans eksterna dibanding sel rod.^{1,3}

Meskipun secara garis besar struktur segmen luar dari sel rod dan cone memiliki kesamaan, namun setidaknya ada satu perbedaan penting. Lempeng diskus dari rod tidak melekat pada membran sel, lempeng diskus ini merupakan suatu struktur tersendiri. Lempeng diskus dari cones melekat pada membran sel. Badan sinaptik dari cone atau pedikel lebih kompleks dibanding *spherule* dari rod. Pedikel cone bersinaps dengan sel-sel cones lainnya, dengan sel-sel rod beserta sel bipolar dan horizontal.^{1,3}

Tabel 3. Perbedaan struktur Rod dan cones

Rods	Cones
Used for night vision	Used for day vision
Very light sensitive; sensitive to scattered light (have more pigment than cones)	At least 1/10th of the rods light sensitive; sensitive only to direct light
Loss causes night blindness	Loss causes legal blindness
Low visual acuity	High visual acuity; better spacial resolution
Not present in fovea	Concentrated in fovea
Slow response to light, stimuli added over time	Fast response to light, can perceive more rapid change in stimuli
Stacks of membrane-enclosed disks are unattached to cell membrane	Disks are attached to outer membrane
20 times more rods than cones in the retina	
One type of photosensitive pigment (monochrome vision)	Three types of photosensitive pigment in human (color vision)
Confer achromatic vision	Confer color vision

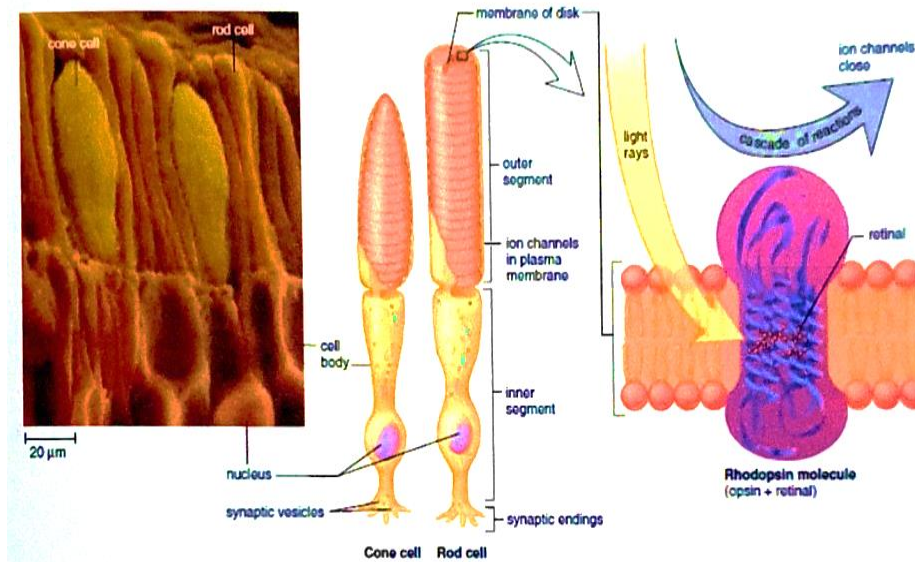
Sel-sel cone pada daerah fovea memiliki segmen dalam berbentuk tabung sama seperti sel rod, tetapi secara garis besar memiliki kesamaan dengan sel-sel cone yang berada di luar fovea. Sel-sel horizontal bersinaps dengan *spherule rods* dan pedikel cone, dan sel horizontal ini berada pada lapisan pleksiform luar. Sel-sel bipolar berbentuk vertikal, dendritnya bersinaps dengan rod juga cone, dan aksonnya bersinaps dengan sel-sel ganglion dan sel amakrin pada lapisan pleksiform dalam.^{1,3}

Rod spherule dan Cone pedicle

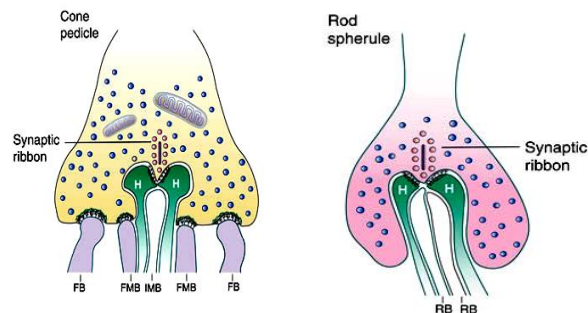
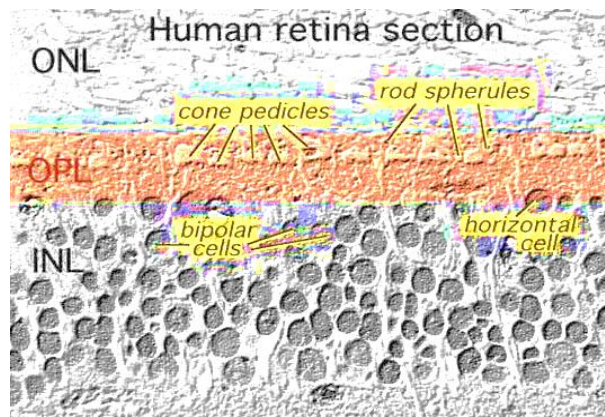
Prosesus dari sel bipolar dan sel horizontal berinvaginasi ke rod *spherule*, dimana ketiga komponen ini membentuk struktur yang disebut *Triad*, yang biasanya satu triad untuk satu *spherule*. Rod *spherule* terdiri dari mitokondria, mikrotubulus dan neuron pre-sinaptik. Celah sinaptik yang kecil memisahkan sel pre-sinaptik dan membran post-sinaptik.

Pada bagian dalam *spherule* terdapat ribbon. Area antara ribbon dan membran sel terdapat *arcuate density*. Ribbon dan arcuate density dikelilingi oleh vesikel sinaptik dan berperan dalam pelepasan neurotransmitter dari vesikel sinaptik. *Conventional vascular*

neurotransmitter membawa informasi dari sel fotoreseptor ke post-sinaptik proses sel bipolar dan sel horizontal.^{2,14}



Gambar 8. Segmen luar sel rod dan cone.



Gambar 9. Rod spherule dan cone pedicle di lapisan pleksiform luar.

Struktur *cone pedicle* mirip dengan *rod spherule*, tetapi bentuknya lebih besar dan terdiri dari beberapa triad, sampai sekitar 25. *Ribbon*

sinaptik-nya lebih kecil dan lebih banyak. *Midget bipolar cell* mengirimkan seluruh dendritnya ke bagian tengah cone triad. Dendrit dari sel bipolar lainnya dari basal atau superfisial mengadakan kontak pada tiap bagian terminal invaginasi, yang kemudian disebut *invaginating midget bipolar cell* dan *flat midget bipolar cell*. Setiap cone pedicle memiliki banyak invaginasi. Pada bagian sentral retina dimana pedikel lebih kecil sebanyak 15 sampai 25 invaginasi terdapat pada setiap terminal.^(2,14)

Interneuron

Sel Bipolar

Sel bipolar membawa sinyal dari sel fotoreseptor ke sel ganglion atau sel amakrin, terdapat 2 kelas utama sel bipolar, yaitu :

1. *Rod bipolar cells*, yang berhubungan dengan *spherule rod*
2. *Cone bipolar cells* dan yang berhubungan dengan pedikel cone, terdiri atas *midget cone bipolar cells* dan *diffuse cone bipolar cells*.^(2,3,10)

Dendrit dari *diffuse cone bipolar cells* memberikan cabangnya ke lapisan pleksiform luar dan mengadakan kontak dengan beberapa pedikel cone. Pada sisi yang berlawanan, akson dari *diffuse cone bipolar cells* diproyeksikan ke lapisan pleksiform dalam dan berhubungan dengan dendrit dari sel ganglion. *Midget cone bipolar cells* bersinaps dengan satu pedikel cone dan satu akson mengadakan kontak dengan satu sel ganglion.

Pada dasarnya, *midget cone bipolar cells* berhubungan dengan satu sel cone ke serat saraf optik. Sebaliknya, *diffuse bipolar cell* mempunyai lebih banyak jalur input dan output. Nukleus dari sel bipolar membentuk lapisan inti dalam. Baik *rod bipolar cells* maupun *cone bipolar cells* menggunakan glutamate untuk proses neurotransmisi.^{3,5}

Sel Horizontal

Dendrit sel horizontal berakhir pada pedikel cone. Satu buah cabang sinaps, dendrit bersinaps baik dengan *spherule rods* maupun

pedikel cone. Sinaps ini terjadi pada lapisan pleksiform luar dan distribusi aksonal mengindikasikan bahwa sel horizontal berintegrasi dengan sel rod dan cone pada area yang berbatasan pada retina.^{2,3,10}

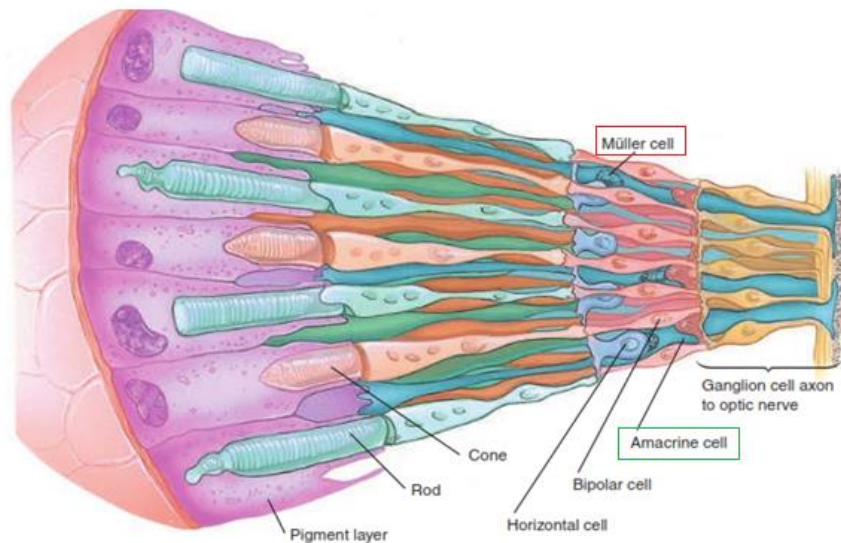
Terdapat 2 tipe sel horizontal, yaitu sel horizontal tipe 1 yang ditandai dengan adanya dendrit yang besar yang mengadakan kontak hanya dengan sel cones dan sebuah akson panjang yang berakhir pada terminal akson yang hanya berhubungan dengan sel rod. Sel horizontal tipe 2 hanya berhubungan dengan sel cone melalui cabang dendritnya yang ramping dan akson yang panjang. Sel horizontal menggunakan *Gamma-aminobutyric acid (GABA)* sebagai neurotransmitter.^{2,3,8}



Gambar 10. Sel horizontal. ⁹

Sel Amakrin

Sebagian besar sel amakrin berlokasi pada bagian proksimal dari lapisan inti dalam. Sel ini memodulasi sinyal pada lapisan pleksiform dalam. Sel amakrin dapat diklasifikasikan berdasarkan *dendritic field* diameter menjadi : *narrow* (39-150 μm), *small field* (150-300 μm) dan *medium field* (300-500 μm).



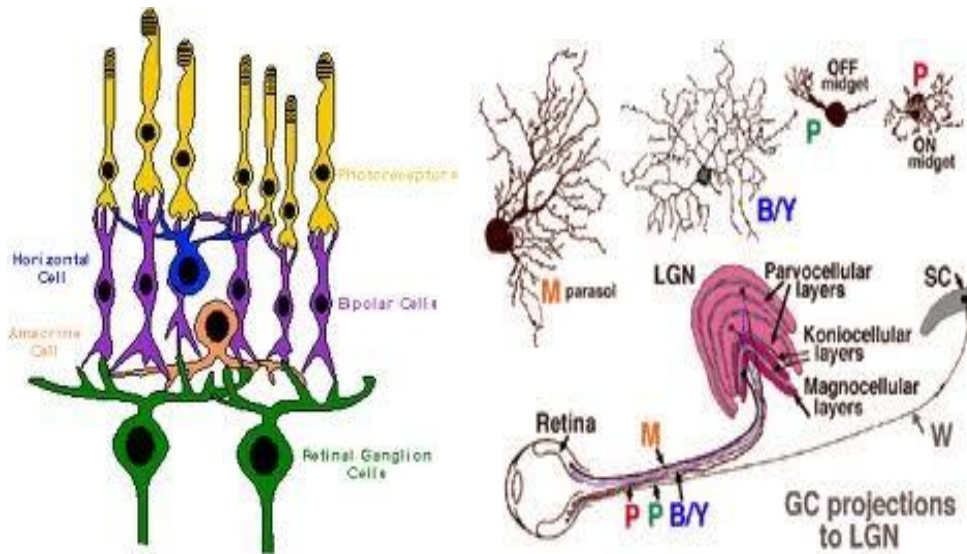
Gambar 11. Sel Amakrin.¹⁰

Berdasarkan distribusi dendrit pada lapisan pleksiform dalam, sel amakrin dapat diklasifikasikan sebagai *stratified* atau *diffuse cell*. Substansi neuroaktif yang terdapat pada sel amakrinnya itu glisin, GABA, asetilkolin, serotonin, dopamine, nitrit oxide, neurotensin, encephalin, somatostatin, substansi P, *vasoactive intestinal peptide (VIP)*, dan glucagon.^{3,10}

Sel Ganglion

Sel ganglion terletak diantara lapisan pleksiform dalam dengan lapisan serabut saraf. Di daerah sekitar fovea sentralis terdapat 5-7 lapis sel-sel ganglion dan merupakan lapisan sel ganglion yang paling tebal (80 μm) dan lapisan sel ganglion yang paling tipis terdapat pada perifer retina (10 μm). Terdapat satu sel ganglion untuk setiap 100 sel rod dan satu sel untuk setiap 5 sel cone. Sel-sel ganglion memiliki 2 jenis sinaps intersel. Dendritnya bersinaps dengan akson sel-sel bipolar dan amakrin.^{2,3,10}

Akson-akson dari sel-sel ganglion melingkar untuk membentuk permukaan dalam dari retina secara paralel, dimana akson-akson ini membentuk lapisan serabut saraf yang akan bersatu pada diskus nervus optik.^{2,3,8}



Gambar 12. Sel ganglion retina. ⁶

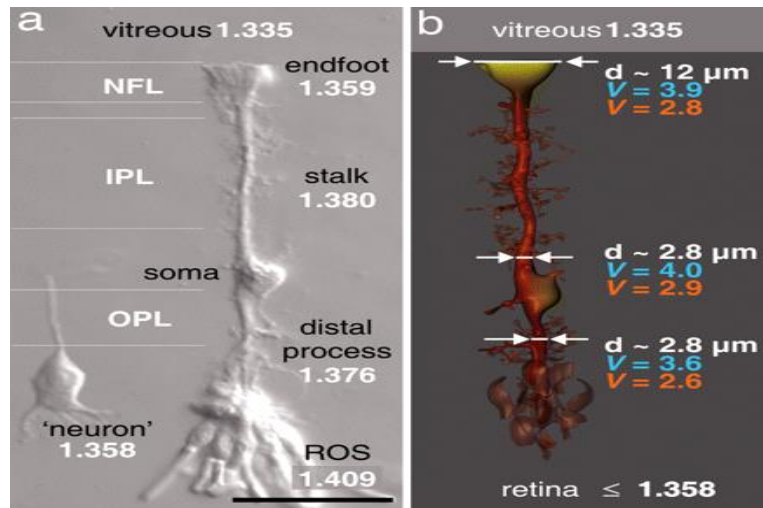
Setiap satu nervus optik memiliki lebih dari 1 juta serabut saraf. Serabut-serabut saraf yang berasal dari temporal berjalan melengkung mengelilingi macula untuk memasuki daerah superior dan inferior diskus nervus optik. Serabut-serabut saraf papillomakular dan fovea berjalan lurus ke dalam diskus nervus optik. Serabut-serabut dari nasal berjalan secara radier. Serabut-serabut ini dapat dievaluasi dengan menggunakan iluminasi sinar hijau (*red free*) pada oftalmoskop. ^(2,3,8)

Elemen-elemen pada neuron pada retina beserta koneksinya sangat kompleks. Banyak tipe sel-sel bipolar amakrin dan sel ganglion lain yang berperan. Elemen-elemen neuron dimana lebih dari 120 juta sel rod dan 6 juta sel cone saling berhubungan satu sama lain dan proses pengiriman sinyal antara neurosensori retina sangat penting. ^{2,3,8}

2. Elemen Glial

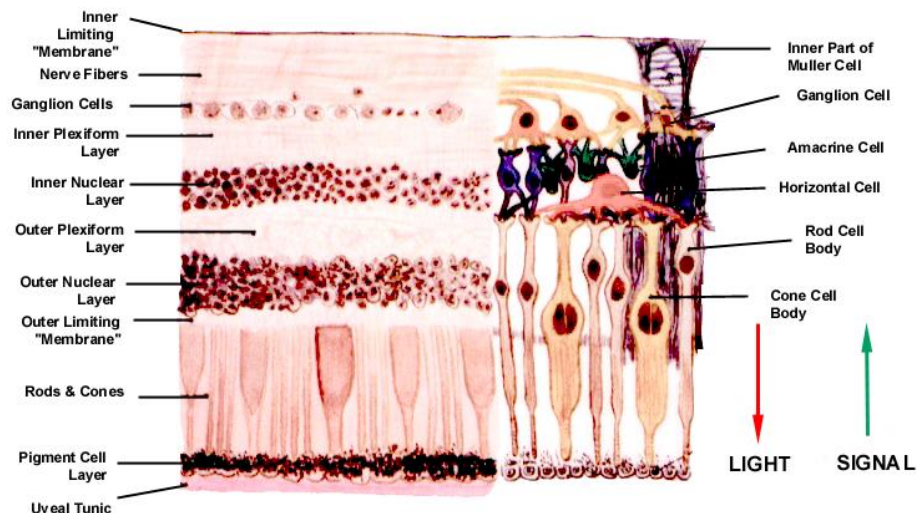
Sel Muller

Sel-sel Muller adalah sel-sel glial yang berjalan secara vertikal dari membran limitans eksterna menuju membran limitans interna. Nukleusnya berada pada lapisan inti dalam. Sel-sel Muller, bersama elemen-elemen glial lainnya (astrokit dan mikroglia) merupakan penunjang bagi retina. ^{2,3,9}



Gambar 13. Skema sel Muller.¹⁰

Beberapa studi terbaru memperlihatkan peranan akan pentingnya sel-sel Muller ini dalam perkembangan dan metabolisme retina. Pemeriksaan imunohistokimia memperlihatkan bahwa sel-sel ini mengandung *retinaldehid binding protein*, glutamine, taurin dan *glutamine sythetase*. Sel-sel Muller juga berperan dalam degradasi dari neurotransmitter GABA. Adanya *RNA messenger* yang mengkode *carbonic anhydrase II* menunjukkan bahwa sel-sel ini juga penting dalam menahan karbondioksida bebas yang dilepaskan ke ruang ekstraseluler oleh elemen-elemen neurosensori retina. Produksi insulin dan faktor-faktor pertumbuhan dari sel-sel Muller ini juga sangat penting dalam metabolisme retina.¹¹



Gambar 14. Lapisan retina dengan sel Muller yang mengisi dan menyangga struktur retina.

Pada gambar di atas, sel Muller mengisi ruang-ruang di antara elemen-elemen neuron pada kedua lapisan membran. Sel ini juga memiliki bentuk dan fungsi untuk menyokong, seperti fungsi sel glia pada umumnya. Sel Muller juga diduga menyediakan *support* metabolik terhadap neuron-neuron retina, oleh karena sel Muller ini merupakan tempat utama penyimpanan glikogen. Pada kondisi stres metabolik yang tinggi seperti hiperglikemia, pemecahan glikogen pada sel Muller ini dapat menyediakan metabolit-metabolit penting, seperti asam laktat untuk digunakan oleh neuron yang rusak. Penelitian metabolisme glukosa pada hewan coba menunjukkan bahwa hasil utama glikolisis adalah laktat.¹¹

Fungsi lain dari sel Muller adalah berperan dalam mempercepat adaptasi gelap dari sel cones, peranannya diduga membantu RPE dalam siklus daur ulang sel cones. Hal ini dibuktikan dengan percobaan pada hewan coba, dengan mengangkat lapisan RPE pada hewan tersebut, ternyata sel cones masih terus dapat bekerja, peran RPE digantikan oleh sel-sel Muller ini.¹⁰

Astrocyte

Astrocyte tidak muncul dari neuroepithelium tetapi bermigrasi ke retina. Permukaan *astrocyte* ditandai dengan adanya interaksi “*contact-spacing*” antar sel.¹⁰

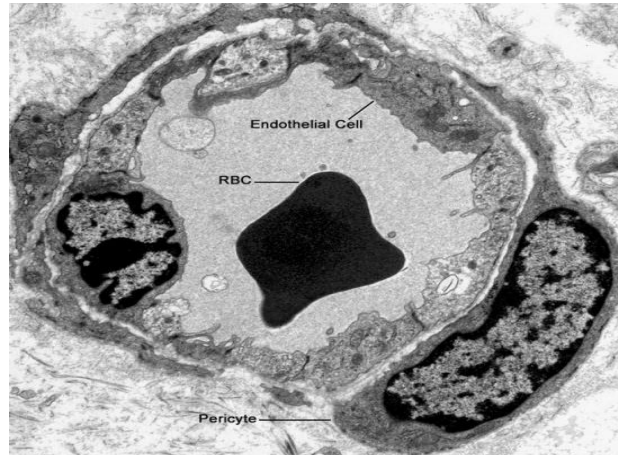
Mikroglia

Mikroglia merupakan makrofag retina, berasal dari mesodermal, dari monosit darah dan memasuki retina selama perkembangan pembuluh darah. Ditemukan pada lapisan serabut saraf dan lapisan pleksiform dalam dan luar.¹⁰

3. Elemen-elemen vaskuler

Pembuluh-pembuluh darah retina memiliki kesamaan dengan pembuluh darah otak atau disebut juga *inner blood retinal barrier (BRB)* berperan dalam mempertahankan sawar darah retina bagian dalam.

Barrier fisiologis ini berhubungan dengan adanya selapis sel-sel endotel yang tidak berfenestra, dimana *tight junction* menahan lolosnya substansi-substansi seperti *fluorescein* dan *horseradish peroxidase*. Lamina basalis melindungi permukaan luar endotel. Membran basalis mengandung selapis perisit/sel mural yang mengelilingi lamina basalis itu sendiri.^{2,3,4}



Gambar 15. Potongan melintang pembuluh darah retina.¹²

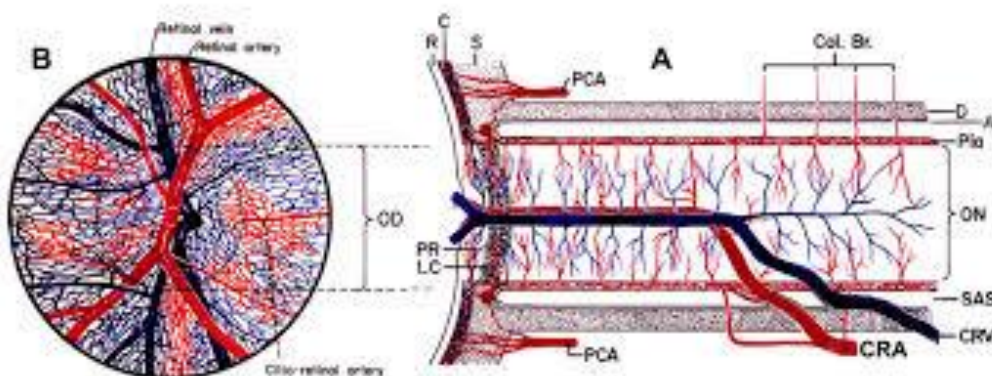
Perisit merupakan sel otot polos yang berasal dari sumsum tulang, sel ini ditemukan melekat pada pembuluh darah kecil pada organ-organ sistem saraf, dimana sel-sel ini akan mengalami perubahan secara terus menerus. Sel ini juga dinamakan *sel mural*, *perivascular microglia*, *sel rougat*, *perivascular macrophage* atau *sel mato*. Sel ini berfungsi dalam perkembangan dan mempertahankan struktur sel. Sel perisit telah dikaitkan dengan berbagai kelainan seperti stroke, hipertensi, *nerve injury*, retinopati dan kematian.^{12,13}

Kandungan protein actin dan *desmin* dalam perisit memungkinkan perlekatan sel ini pada sel-sel endovascular dan membuatnya sebagai regulator aliran darah yang kuat pada microvasculature.¹³ Perisit mengandung enzim aldose reduktase, yang berperan penting dalam perkembangan retinopati diabetik. Kelebihan kadar glukosa menyebabkan terjadinya *polyol pathway* dan akumulasi sorbitol. Metabolit osmotik yang aktif ini akan menyebabkan kerusakan perisit pada pembuluh darah retina, yang akan menimbulkan gejala yang khas pada retinopati diabetik.¹³

B. VASKULARISASI RETINA

Pembuluh darah retina berasal dari dua sumber, yaitu kapiler koroid dan arteri dan vena sentralis. Kapiler koroid menyuplai 1/3 bagian luar termasuk sel rod dan cone, RPE dan lapisan inti luar. Sedangkan arteri dan vena retina sentralis menyuplai 2/3 bagian dalam sampai dengan tepi dalam lapisan inti dalam. Arteri retina sentralis merupakan cabang pertama arteri oftalmika dengan diameter 0,3 mm dan berjalan menuju lapisan dura dari nervus optik dan memasuki bagian inferior dan medial nervus optik sekitar 12 mm di posterior bola mata. Arteri retina sentralis terbagi menjadi cabang superior dan inferior. Setelah beberapa millimeter, cabang ini terbagi menjadi cabang superior dan inferior nasal dan temporal. Cabang dari arteri dan vena retina sentralis muncul dari bagian tengah diskus optik, biasanya ke arah nasal. Tidak terdapat overlap dan anastomosis pada semua pembuluh darah di semua kuadran. Cabang nasal berjalan ke ora serrata. Sementara cabang temporal melengkung di atas dan di daerah fovea sentralis.^{2,7}

Sama halnya dengan pembuluh darah di seluruh tubuh, jika terjadi kondisi hipoksia pada pembuluh darah retina, maka endotel dari pembuluh darah retina akan melepaskan faktor-faktor angiogenesis seperti VEGF, IGF, *basic Fibroblast Growth Factor (bFGF)* dan berbagai nukleosida seperti *adenosine*.^{2,6,7}



Gambar 16. Pembuluh darah retina sentralis di dalam nervus optik.

III. FISILOGI RETINA

Fungsi utama mata adalah memfokuskan berkas cahaya dari lingkungan ke sel rod dan sel cone hingga ke sel fotoreseptor retina. Fotoreseptor kemudian mengubah energi cahaya menjadi sinyal listrik untuk ditransmisikan ke sistem saraf pusat bagian retina yang mengandung fotoreseptor. Selama perkembangan zigot, sel-sel retina berdiferensiasi dari sistem saraf menjadi lapisan-lapisan retina dimana bagian ini terdiri dari tiga lapisan sel peka rangsang yaitu:

- (1) Lapisan paling luar (paling dekat dengan koroid) yang mengandung sel rod dan sel cone, yang ujung-ujung peka cahayanya menghadap ke koroid (menjauhi sinar datang);
- (2) Lapisan tengah sel bipolar; dan
- (3) Lapisan dalam berisi sel ganglion. Akson-akson sel ganglion menyatu untuk membentuk saraf optik, yang keluar dari retina tidak tepat dari bagian tengah. Titik di retina tempat saraf optik keluar dan pembuluh darah berjalan disebut diskus optikus. Bagian ini sering disebut sebagai bintik buta; tidak ada bayangan yang dapat dideteksi di bagian ini karena tidak adanya sel cone dan sel rod. Dalam keadaan normal kita tidak menyadari adanya bintik buta ini karena pemrosesan di sentral mengisi kekosongan ini.

Setiap orang dapat mengetahui keberadaan bintik buta masing-masing dengan demonstrasi sederhana. Untuk menemukan bintik buta di mata kiri, tutuplah mata dan memegang buku atau kertas bertuliskan tanda positif (+) dan negatif (-) atau lingkaran (0) sejauh sekitar 4 inci (10,15 cm) dari wajah. Selagi memfokuskan penglihatan ke tanda tambah, geserlah buku atau kertas tersebut secara perlahan menjauh hingga lingkaran lenyap dari penglihatan. Pada saat ini, bayangan lingkaran mengenai bintik buta mata kiri. Cara yang lain untuk mengetahui lokasi bintik buta di mata kanan adalah dengan menutup mata kiri dan berfokus pada lingkaran. Tanda tambah akan lenyap ketika bayangannya mengenai bintik buta mata kanan.¹⁵

Pada retina, RPE menentukan kelangsungan fotoreseptor dan koriokapiler. Jika RPE mengalami gangguan, baik secara kimiawi maupun mekanik, maka fotoreseptor dan koriokapiler akan mengalami atrofi. RPE memproduksi sitokin, termasuk *basic Fibroblast Growth Factor (bFGF)* yang mempertahankan kelangsungan fotoreseptor. Akan tetapi sampai saat ini masih belum jelas berbagai senyawa yang dihasilkan oleh RPE dalam mendukung kelangsungan fotoreseptor dan koriokapiler *in vivo*. RPE berperan dalam memperbaharui segmen luar fotoreseptor, penyimpanan dan metabolisme vitamin A, transpor dan barrier epitel. Selain itu juga mengabsorpsi cahaya oleh pigmen melanin di epitel, menangkap radikal bebas oleh pigmen melanin, dan detoksifikasi obat oleh sistein sitokrom P-450 retikulum endoplasmik halus yang juga ditemukan pada sel RPE.

A. FUNGSI IMUN

Fungsi lain dari retina adalah sebagai regulator respon imun lokal. Hal ini dijalankan oleh barrier pasif RPE dan sekresi aktif sitokin immunosupresif seperti *transforming growth factor beta (TGF- β)*. Saat terjadi inflamasi, maka RPE menghambat kerja mediator inflamasi. RPE juga secara aktif mensekresi reseptor *Tumor necrosis factor- α (TNF- α)*, dan memproduksi faktor yang mensupresi *neutrophil superoxide generator* yang membatasi kerusakan jaringan selama terjadi inflamasi.¹⁰

RPE juga mengekspresikan *Fas-ligand (fasL)* yang digunakan untuk proses apoptosis dalam menginvasi *Fas-expressing* yang diaktivasi oleh limfosit atau sel endotelial neovaskular. RPE dianggap sebagai *macrophage-like morphology*. Sel RPE secara aktif memfagositosis dan menghambat *reseptor mediated phagositosis* dari komponen matriks ekstraseluler. Proliferasi sel RPE terjadi setelah stimulasi *platelet derived growth factor (PDGF)*, *TNF- α* , *insulin like growth factor (IGF)* dan *vascular endothelial growth factor (VEGF)*. Aktivasi RPE bisa mengekspresikan molekul yang berhubungan dengan pengikatan dan infiltrasi leukosit. Terlihat pula ekspresi molekul-molekul adhesi seperti CD45, CD48, CD54, CD59, CD68 dan ICAM-1. Saat diaktivasi oleh IL-1, TNF, IL-7 atau glikasi

albumin serum, maka sel RPE akan mengaktivasi lekosit dengan mensekresi kemokin, yaitu *monocyte chemotactic protein-1* (MCP-1) dan IL-8, dimana kemokin ini bisa dihambat oleh dexamethasone dan cyclosporin.

B. BLOOD RETINAL BARRIER

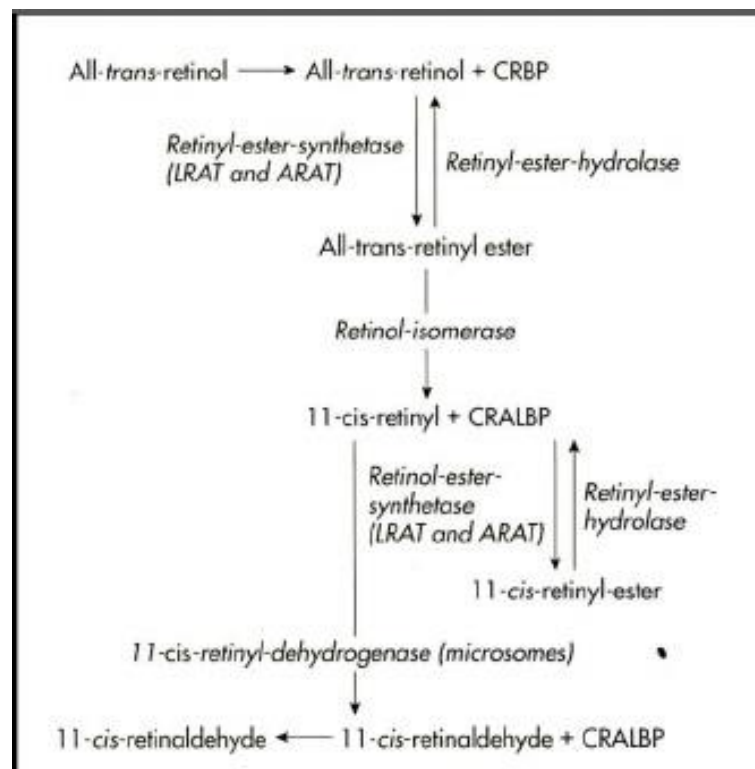
Terdapat dua komponen pembentuk *blood retinal barrier* (BRB), yakni *inner blood retinal barrier* dan *outer blood retinal barrier*. Integritas BRB telah dikenali sebagai komponen penting dalam mempertahankan fungsi visual normal dan gangguan pada BRB ini dapat memberikan manifestasi pada berbagai penyakit, seperti *macular edema*, sebagai akibat kebocoran cairan albumin dan protein, dengan akibat akumulasi eksudat intraretina.²¹

Outer blood retinal barrier dibentuk oleh RPE yang mengontrol pertukaran cairan dan molekul antara koriokapiler yang berfenestra dan permukaan luar retina. Dua komponen RPE yang berperan dalam fungsi barrier adalah *tight junction* antara sel-sel RPE dan distribusi protein seluler yang terpolarisasi. *Tight junction* merupakan struktur dinamik dimana permeabilitasnya dapat dipengaruhi oleh kondisi fisiologis tertentu dan oleh agen-agen farmakologis. Regulasi transpor transepitelial bergantung pada distribusi protein seluler yang asimetris.¹⁰

C. SIKLUS VISUAL

Salah satu fungsi penting RPE adalah metabolisme retinol. Isomerisasi *11-cis retinaldehyde* menjadi *all-trans-retinol* pada absorpsi cahaya pada *photoreceptor outer segment* merupakan tahap awal reaksi lintas penglihatan. Re-isomerisasi *all-trans-retinol* menjadi *11-cis-retinal* di RPE juga merupakan aspek penting pada lintas penglihatan. Mekanisme transpor dengan menggunakan *retinoid binding protein* (RBP) intraseluler maupun ekstraseluler digunakan untuk uptake retinol dari darah dan untuk pertukaran retinol antara sel-sel fotoreseptor dan RPE. Di darah, retinol yang merupakan molekul yang larut dalam lemak terikat pada *retinol-binding protein* (RBP) untuk meningkatkan solubilitasnya. Retinol dari

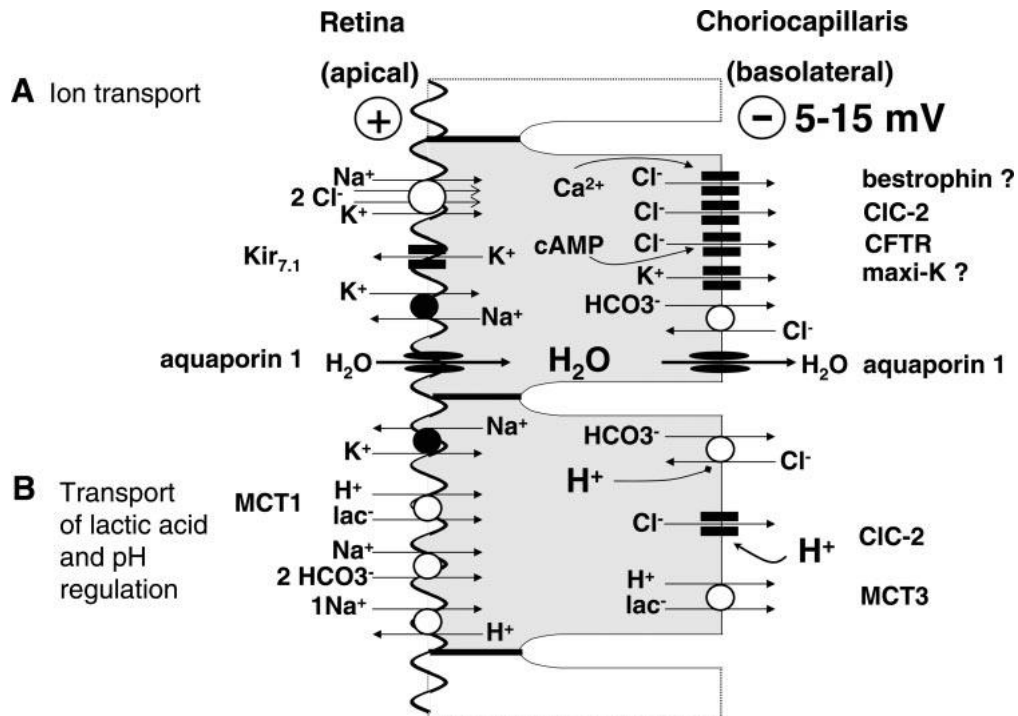
plasma RBP ke RPE melalui proses mediasi reseptor. Dimana reseptor plasma RBP berada pada permukaan basal sel RPE.¹⁸



Gambar 17. Reaksi intraseluler pada metabolisme retinoid.
(LRAT : lecithin retinol acyl transferase); arat, acyl coa: retinyl acyl transferase.

Pada daerah ini retinol terikat dengan protein lain dan disimpan dalam bentuk fatty acid esters retinol, merupakan kompleks protein-lipid dan substrat ini akan mengalami esterifikasi dan intermediate untuk transfer retinol ke cytosolic retinol-binding protein (CRBP). Selanjutnya, dengan adanya *interphotoreceptor retinoid binding protein* (IRPB) memediasi transfer 11-cis-retinaldehyde dari RPE ke fotoreseptor dan all-trans retinol dari retina ke RPE melewati permukaan apical. Pada retinitis pigmentosa terjadi defek genetik pada RLBP1, gen yang mengkode CRALBP (cellular retinaldehyde binding protein) yang memegang peranan dalam metabolisme vitamin A. Di RPE retinol akan diubah menjadi *retinylester* dengan bantuan enzim *lecithin retinol acyltransferase*. Untuk menghasilkan rhodopsin, retinyl ester dirubah menjadi *11-cis retinol* oleh isomerohydrolase yang selanjutnya dikonversikan menjadi *11-cis retinal*

dehydrogenase dengan bantuan IRBP, *11-cis retinal* akan dikembalikan ke dalam sel fotoreseptor.^{2,3,4,10}



Gambar 18. Transpor epitel dan regulasi pH pada retina.

(CIC-2, voltage-dependent Cl channels dari CIC family; CFTR: cystic fibrosis transmembrane sebagai regulator; Kir in wardly rectifying K' channel 71: max-K large conductance Ca-dependent K channel; MCT1, monocarboxylate transporter 1; MCT3, monocarboxylate transporter 3).

D. TRANSPOR TRANS-EPITELIAL

a) TRANSPOR ION

Transpor ion-ion trans-epitelial melewati RPE. Cl^- ditranspor dari *subretinal space* ke koriokapiler. Transpor ini diikuti oleh air melalui *aquaporin* dari subretinal space ke koriokapiler. Energi transpor berasal dari apical $Na^+K^+ATPase$. K^+ ditranspor oleh resiklus ATPase melalui membran apical dan mempengaruhi gradien Na^+ ke dalam sel. Gradien Na^+ merangsang masuknya K^+ dan Cl^- pada daerah apical sehingga terjadi aktivitas yang tinggi oleh Cl^- intraseluler. Cl^- keluar dari sel pada daerah basolateral melalui Cl channels. Keluarnya Cl dari sel ditekan oleh aktivitas pertukaran Cl^-/HCO_3^- , yang mentranspor Cl^- kembali ke dalam sel.

b) *TRANSPOR ASAM LAKTAT DAN REGULASI PH.*

Asam laktat keluar dari subretinal space oleh lac-H⁺ cotransporter. Melalui membran basolateral, asam laktat meninggalkan sel dengan menggunakan subtype cotransporter lac-H⁺ yang berbeda. Regulasi pH terjadi dengan menggunakan Na⁺/H⁺ *exchanger* dan Na⁺/HCO₃⁻ *exchanger* pada membran apikal dan Cl⁻/HCO₃⁻ *exchanger* pada membran basolateral. Aktivitas Cl⁻/HCO₃⁻ *exchanger* didukung oleh Cl channels basolateral yang menghasilkan siklus Cl⁻ melewati membran basolateral. Jika terjadi asidifikasi intraseluler, Cl⁻/HCO₃⁻ *exchanger* akan dihambat sedangkan Cl channels diaktivasi. Keadaan ini meningkatkan jumlah transpor air.¹⁹

E. FOTOTRANSDUKSI

a) *FOTOTRANSDUKSI ROD*

Proses penerimaan dan perubahan cahaya yang masuk ke dalam retina membutuhkan energi dimana respon retina ini membedakannya dengan struktur saraf lainnya. Kombinasi dari proses ini melibatkan organel khusus dari sel fotoreseptor. Rod memiliki lebih banyak membran dibandingkan dengan cone sehingga rod lebih sensitif.^{2,4,8,9}

Segmen luar dari rod terutama mengandung material plasma membran yang tersusun secara khas. Membran ini tersusun dalam bentuk kantung-kantung pipih sepanjang aksis horizontal dari segmen luar. Terdapat sekitar 1000 kantung pada segmen luar rod dan sekitar 1 juta molekul rhodopsin pada setiap kantung. Kantung-kantung ini melayang pada sitoplasma seperti sebuah tumpukan koin yang tidak berhubungan dengan plasma membran luarnya. Kantung ini mengandung mesin protein untuk menangkap dan memperkuat energi cahaya. Melimpahnya membran sel luar ini

meningkatkan jumlah molekul rhodopsin yang dapat menyerap cahaya.^{2,4,7,10}

Cahaya diserap oleh rhodopsin yang terletak pada membran sel luar dari rod. Rhodopsin adalah sejenis protein berupa membran yang mudah ditembus dan sejenis dengan reseptor alfa dan beta adrenergik. Setiap molekul bertanggung jawab terhadap satu kuantum cahaya. Rhodopsin menyerap cahaya hijau dengan panjang gelombang sekitar 510 nm. Rhodopsin kurang baik dalam menyerap cahaya biru dan kuning dan tidak sensitif terhadap cahaya merah.^{9,10}

Pada saat rhodopsin menyerap suatu kuantum cahaya, ikatan ganda dari *11-cis retinal* akan pecah dan molekul opsin mengalami perubahan konfigurasi yang cepat, sehingga terjadi keadaan aktif yang disebut *metarhodopsin II*. Rhodopsin yang teraktivasi memulai reaksi dengan mengontrol aliran kation-kation ke dalam segmen luar rod. Target dari reaksi ini adalah pada pintu saluran *cyclic guanosine monophosphate* (cGMP) yang terletak di membran terluar dari segmen luar. Saluran ini mengontrol aliran ion natrium dan kalsium ke dalam rod. Dalam suasana gelap, ion natrium dan kalsium mengalir melalui saluran ini dimana terbukanya pintu saluran ini dipertahankan oleh cGMP. Keseimbangan ion dipertahankan oleh pompa Na^+ , K^+ -ATPase pada segmen dalam dan Na^+/K^+ . *Ca exchanger* pada membran segmen luar, yang mana kedua proses ini membutuhkan energi. Keadaan depolarisasi rod menyebabkan dilepasnya neurotransmitter *glutamate* dari terminal sinaptik dan dimulailah sebuah sinyal neural dari proses melihat.³

Rhodopsin yang telah teraktivasi merangsang molekul kedua, transduksi, dengan cara menukar *guanosin difosfat* (GDP) dengan *guanosin trifosfat* (GTP). Satu molekul rhodopsin dapat mengaktifkan seratus molekul transduksi, sehingga memperkuat reaksi. Transduksi yang aktif memicu protein ketiga, *rod fosfodiesterase* (rod PDE) yang menghidrolisis cGMP ke 5'-*noncyclic*

GMP. Penurunan cGMP ini menutup pintu saluran-saluran, dimana akan menghentikan masuknya natrium dan kalsium dan membuat keadaan hiperpolarisasi rod. Hiperpolarisasi menghentikan pelepasan glutamate dari terminal sinaptik.^{3,9}



Gambar 19. Alur aktivasi fototransduksi.¹¹

Pada keadaan gelap, rod kembali ke keadaan gelapnya seiring dengan terhentinya aliran reaksi. Rhodopsin mengalami inaktivasi akibat fosforilasi pada C- terminalnya oleh *rhodopsin kinase*, yang dibantu oleh ikatan *arrestin*. Transdusin dinonaktifkan akibat hidrolisis dari GTP ke GDP oleh aktivitas *GTPase transdusin intrinsic*, yang juga menonaktifkan PDE. *Guanilat siklase*, suatu enzim yang mensintesis cGMP dari GTP, diaktifkan oleh menurunnya kadar kalsium intraseluler akibat tertutupnya saluran. Aksi dari enzim ini dibantu oleh protein pembantu *guanilat siklase* (GCAPs). Dengan meningkatnya kadar cGMP, pintu saluran-saluran tertutup dan rod kembali mengalami depolarisasi. Meningkatnya kadar kalsium intraseluler mengembalikan aktivitas *guanilat siklase* ke level gelapnya. Umpan kalsium juga dapat meregulasi fosforilasi opsin dengan jalan melindungi sensitivitas pintu saluran.^{3,4,8,9}

b) FOTOTRANSDUKSI CONE

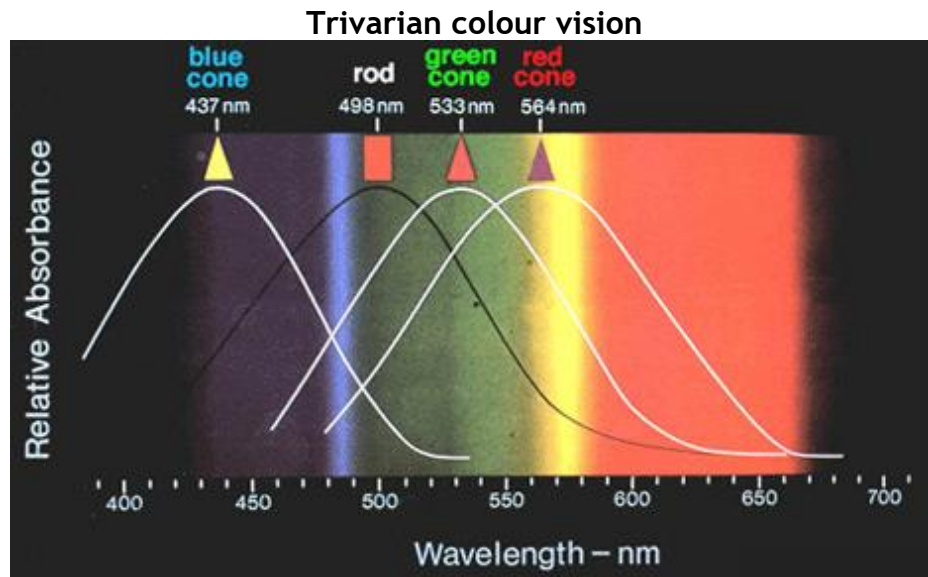
Fototransduksi yang terjadi pada cone adalah kebalikan dari rod. *Cone-opsin* yang telah teraktivasi oleh cahaya memulai pengaliran enzimatis yang menghidrolisis cGMP dan menutup saluran kation pada pintu spesifik cGMP cone di membran segmen luarnya. Fototransduksi pada cone kurang sensitif namun memiliki kemampuan yang cepat dalam beradaptasi terhadap berbagai kadar iluminasi. Semakin besar kadar cahaya, maka semakin cepat dan akurat respon dari cone. Kecepatan dan ketepatan sangat penting dalam kerja cone. Hal ini yang menjadi alasan peningkatan ketajaman penglihatan seiring dengan peningkatan iluminasi. Karena kemampuan cone dalam beradaptasi, cone sangat diperlukan untuk ketajaman penglihatan.^{3,4,8,9}

Pada sel cone, terdapat mekanisme umpan balik negatif. Sel-sel horizontal bersinaps secara antagonis terhadap cone, dimana sel ini melepas GABA yang bersifat inhibitor. Pada saat cahaya menghiperpolarisasi cone, maka cone membuat hiperpolarisasi sel horizontal di sebelahnya. Hal ini mengakibatkan inhibisi terhadap sel horizontal, sehingga pelepasan GABA terhenti dan terjadi depolarisasi cone. Keadaan depolarisasi ini menghambat keadaan hiperpolarisasi oleh cahaya dan mencoba untuk mengembalikan cone pada keadaan hiperpolarisasi oleh cahaya. Umpan balik negatif ini berfungsi agar cone tidak mengalami keadaan *overload* (kelebihan beban) sehingga memungkinkan cone dapat merespon stimulus baru dengan lebih cepat.^{3,10}

F. PENGLIHATAN WARNA

Untuk melihat warna, mamalia harus memiliki sedikitnya 2 kelas spektral berbeda dari cone. Pada mata manusia normal, ada 3 tipe sel cone dimana ketiganya merupakan 3 sistem *cone-opsin*. Tiga sistem *cone-opsin* tersebut adalah *short-wavelength sensitive (S)*, *middle-wavelength-sensitive (M)* dan *long-wavelength-sensitive cone (L)*. Ketiga varian opsin tersebut terdapat pada semua sel cone. Namun secara garis besar terdapat tiga jenis cone dimana jenisnya tergantung pada jenis opsin yang

dominan, yang menyebabkan sel ini sensitif terhadap spektrum warna yang berbeda-beda, sebagaimana terlihat pada diagram di bawah. Cone biru mengandung banyak *blue-sensitive opsin*, yang mudah tereksitasi dengan panjang gelombang sekitar 420 nm, cone hijau dengan panjang gelombang sekitar 530 nm, dan merah dengan panjang gelombang 560 nm.¹⁰



Gambar 20. Variasi sensitivitas warna pada sel cones.¹¹

G. AUTOREGULASI RETINA

Retinal blood flow pada mata yang normal selalu mengalir normal meskipun terdapat fluktuasi pada tekanan darah sistemik maupun tekanan intraokuler. Dibandingkan dengan sirkulasi koroid, (*high-flow, variable-rate system*) sirkulasi retina adalah *lower-flow, constant-rate system* yang menyuplai agen-agen metabolik aktif. Sistem saraf autonom berperan pada regulasi pembuluh darah koroid dan retrobulbar, tetapi berakhir pada lamina cribrosa. Meskipun pembuluh darah retina dan nervus optik memiliki reseptor α -adrenergik, β -adrenergik dan kolinergik, tetapi peranan reseptor ini terhadap vaskularisasinya belum diketahui dengan pasti. *Retinal blood flow* harus terjadi dalam vascular *microenvironment* (autoregulation). Pada sirkulasi retina dan nervus optik, kontrol sistemik hanya merupakan pengaruh minor, sementara faktor lokal (misalnya *nitrit*

oxide, prostaglandin, endothelin dan *system renin-angiotensin*) merupakan regulasi yang lebih dominan.^{19,20,22}

Pembuluh-pembuluh darah retina sangat dipengaruhi oleh sel-sel endotel yang melepaskan molekul vasoaktif. Molekul vasoaktif yang terpenting adalah *nitric oxide* yang memicu vasodilatasi dan *endothelin-1* yang memicu vasokonstriksi. Mekanisme autoregulasi sebagian besar dikendalikan oleh aktivitas sel neural dan glial, yang disebut *neurovascular coupling*, hal ini disebabkan oleh adanya *blood retinal barrier* yang menyebabkan hormon seperti *endothelin* dan angiotensin hanya dapat memberi sedikit pengaruh pada intraretina, hal ini tidak berlaku pada pembuluh darah koroid yang berfenestra, yang memungkinkan hormon dapat lolos ke perisit dan otot polos endotel.^{19,20}

Beberapa penelitian menyebutkan bahwa aliran darah retina meningkat dan menurun berlawanan dengan proporsi kandungan oksigen arteri. Pada pasien diabetes, respon ini berkurang akibat peningkatan kadar glukosa darah. Pada pasien sehat, sirkulasi retina merupakan cerminan sirkulasi serebral dalam hal kandungan oksigen arteri. Faktor yang menentukan jaringan otot polos serebrovaskuler adalah PCO₂ arteri.²²

Sebuah penelitian mengungkapkan manfaat penggunaan ACE inhibitor dalam mengurangi progresifitas retinopati diabetik. Hal ini didasarkan pada hipotesis bahwa terdapat sistem *renin-angiotensin* yang independen pada mata. Komponen-komponen mayor seperti reseptor angiotensin I dan II ditemukan pada jaringan bola mata. Terdapat pula bukti bahwa ACE diproduksi oleh sel-sel endotel dan memiliki pengaruh buruk pada aliran darah retina dan struktur vaskuler, dan independen terhadap perubahan tekanan darah sistemik. Aktivasi reseptor angiotensin tipe I pada endotel vaskuler terbukti memberi kontribusi dalam perkembangan abnormalitas mikrovaskuler.²³

H. AUTOREGULASI TEKANAN

Perubahan pada tekanan perfusi okuler yang didefinisikan sebagai tekanan arteri pembuluh darah okuler seringkali dihitung dari 2/3 tekanan arteri rata-rata *mean arterial pressure* (MAP). Jika terjadi perubahan tekanan perfusi, konstiksi atau dilatasi vaskuler lokal menyebabkan resistensi vaskuler yang secara berlawanan meningkat atau menurun, yang berarti keadaan ini mempertahankan suplai nutrisi tetap stabil. Hal inilah yang dikatakan sebagai respon autoregulasi. Akibat dari peningkatan pada tekanan arteri brachialis sejalan dengan tekanan arteri oftalmika, maka autoregulasi tekanan retina secara primer dimediasi oleh meningkatnya resistensi vaskuler retina.^{22,23}

I. AUTOREGULASI METABOLIK

Kemampuan untuk meningkatkan perfusi sebagai respon terhadap perubahan kebutuhan jaringan, dianggap sebagai autoregulasi metabolik, yang juga terlihat pada retina. Dalam suatu percobaan pada binatang coba dengan memberikan stimulasi cahaya *flicker* terlihat adanya peningkatan aliran darah retina dengan vasodilatasi lokal yang dimediasi oleh pelepasan *nitrous oxide*. Hal ini memperlihatkan adanya peningkatan perfusi retina pada adaptasi gelap.^{24,25}

IV. PENUTUP

Retina merupakan membran yang sangat tipis dan transparan, sangat terorganisasi dengan kemampuan untuk memulai pengolahan informasi penglihatan sebelum ditransmisikan melalui nervus optik ke korteks visual.

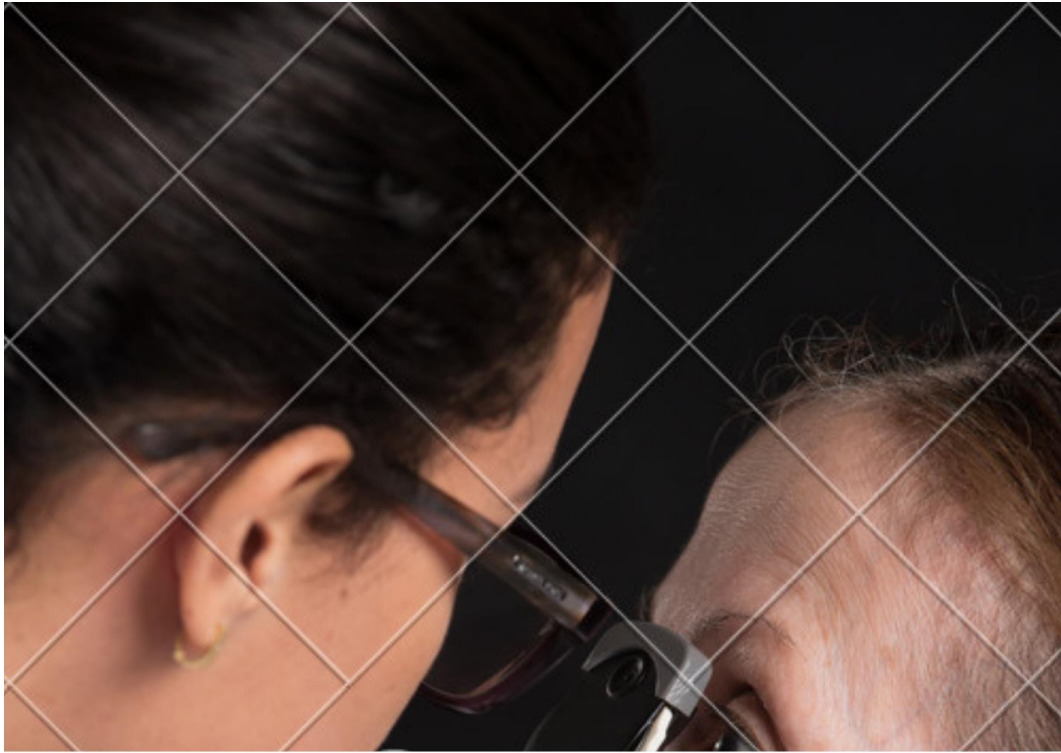
Topografi retina bisa digambarkan dengan adanya makula, fovea, parafovea, perifovea, diskus optik dan ora serata. Pada potongan melintang dari luar ke dalam, retina terdiri atas :RPE dan lamina basalis, segmen luar dan dalam *rod* dan *cone*, membran limitans eksterna, lapisan inti luar (nuclei fotoreceptors), lapisan plexiform luar, lapisan inti dalam, lapisan plexiform dalam, lapisan sel ganglion, lapisan serabut saraf (sel

axon ganglion), dan membran limitas interna. Fungsi retina secara keseluruhan banyak diperankan oleh *retinal pigmen epithelium (RPE)* pada siklus visual, metabolisme vitamin A, *blood retinal barrier*, fagositosis segmen luar fotoreseptor, dan juga sebagai respon imun lokal. Terdapat pula adanya autoregulasi pada retina yaitu autoregulasi tekanan untuk mengatur aliran dan tekanan darah, serta autoregulasi metabolik untuk mempertahankan perfusi atas perubahan kebutuhan sel-sel intraretina.

DAFTAR PUSTAKA

1. Park, S.S., Siegelman J., Gragoudas E.S.: *The Anatomy and Cell Biology of the Retina on Duane's Clinical Ophthalmology.*, On CD ROM., Lippincott and William Wilkins.
2. Fletcher, E. C., Chong V. : *Retina*, in *Vaughan and Asbury's General Ophthalmology 17th ed.*, McGraw-Hill co., New York, 2007
3. Chibis, W.G, Hillary A.B, James, J.T., John, S.B., Karla J., Shalesh K . *Fundamentals and Principles of Ophthalmology, Basic and Clinical Science Course*, Sec. 2, AAO, San Fransisco, 2011-2012. Hal 76-87
4. Regillo, C., Holekamp, N., Johnson, M.W., Kaiser, P.K., Schubert, H.D., Spaide, R., *Retina and Vitreous; Basic and Clinical Science Course* Sec. 12, AAO, San Fransisco, 2011- 2012, Hal 7- 17
5. Kaufman, P. L., MD, Albert, MD, , *Adler's Physiology of the Eye Clinical Application*, 10th ed. St. Louis, Missouri, Mosby, 2002. Hal 3-7
6. Young, Barbara. *Wheater's functional histology : a text and colour atlas*. 2014. Philadelphia: Elsevier.Ltd. Hal.407
7. Lang, G.E., Lang, G.K., *Retina*, in : *Ophthalmology a Pocket textbook Atlas*, 2nd ed. Stuttgart- New York, Thieme, 2007. Hal : 299
8. *Mescher AL. Junqueira's Basic Histology Text and Atlas 13th edition. McGraw-Hill: United State, 2013. Hal: 492*
9. Sarthy, V., Ripps, H., *Structural Organization of Retinal Glia*, on :*The Retinal Muller Cells, Structure and Function*, Kluwer Academic Publisher, New York, 2002. Hal : 1-33
10. Leslie PG, James LH. *Color Atlas and Text of Histology 6th edition*. Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia. 2014. Hal: 462
11. Winkler, B. S., Arnold, M.J., Brassell, M. A., Puro, D.G., *Energy Metabolism in Human Retinal Müller Cells*, from www.PubMed/NCBI.fcgi.html., accessed on January 22nd, 2014
12. *Cerebral Blood Flow*, available at www.neurophilosophy/cerebralblood flow.html, accessed on January 28th, 2014

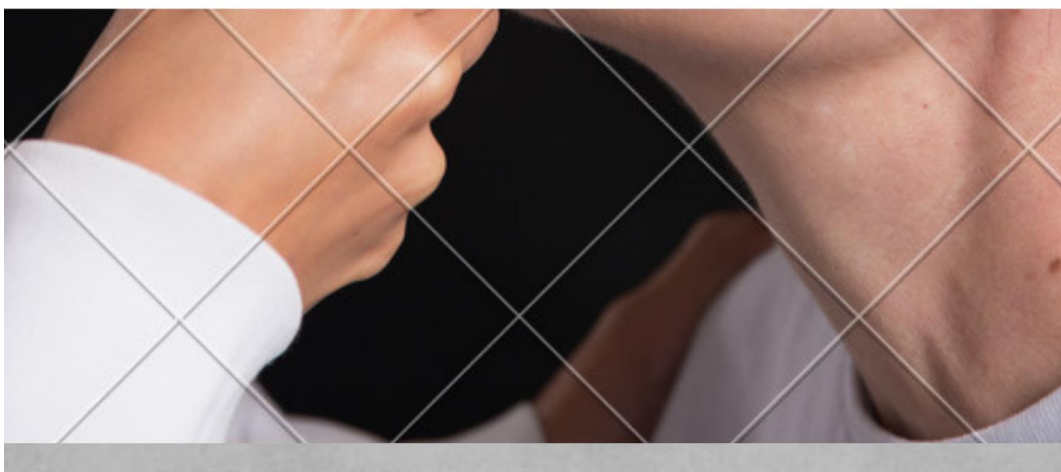
13. *Pericyte*, available at www.wikipedia.org/pericyte/html, accessed at January 28th, 2014
14. Michael H. Ross. *Histology : a text and atlas : with correlated cell and molecular biology*. Philadelphia: Wolters Kluwer Health, 2016. Hal : 920
15. Sherwood L. *Fisiologi Manusia Dari Sel ke Sistem edisi 6*. Cengage LearningAsia Pte Lrd: Singapore, 2006. Hal 218-222.
16. Kimura, E., Young R., *Pupillary Correlates of Melanopsin Photoreception in Humans*.
17. Barnard A. R., Hattar S., Hankins M. W., Lucas R. J., : *Melanopsin Regulates Visual Processing in the Mouse Retina*, *Current Biology* 16, P :389-395, Elsevier Ltd, January 28th, 2014
18. Justis P. Ehlers. *The Retina Illustrated*. New York:Thieme, 2020. Hal : 182
19. Tachibana, H., Gotoh F., Ishikawa, Y. : *Retinal Vascular Autoregulation in Normal Subjects*, *Journal of Cerebral Circulation*, Vol 13 March-April, 2008
20. Kastelan, S. Tomic, M., Kusmanovic, B., Rotkvic, L : *The Role Of Angiotensin-Converting Enzyme Inhibitors In The Pathogenesis Of Diabetic Retinopathy*, *Diabetologia Croatia*, Zagreb, 2007
21. Flammer, J., Mozzafarieh, M.,: *Autoregulation, a Balancing act Between Supply and Demand*, *Can J Ophthalmology*, 2008, 43 :217-21
22. Gardner, T.W, Antonetti, D.A., Barber, A.J, Lieth E., Tarbell J. A., *The Molecular Structure and Function of the Inner Blood-retinal barrier*. Kluwer Academic Publisher, Netherlands, 2000.
23. Weng, T.X., Godley B.F., Jin, G. F, Mangini, N. J., Kennedy, B.G., Yu, A.S.L, Wills, N.K., *Oxidant and Antioxidant Modulation of Chloride Channels Expressed in Human Retinal Pigment Epithelium*, American Physiological Society, USA, 2002.
24. Clermon A, *Role of the angiotensin II type 1 receptor in the pathogenesis of diabetic retinopathy* , on : effect of blood pressure control and beyond, Boston, Massachusetts 02215 USA, 2006
25. *Pathofisiologi of Diabetic Retinopathy*, available from <http://www.hindawi.com>, accessed on January 21th, 2014



CHAPTER II

PEMERIKSAAN DASAR RETINA

Nurul Magfirah Rusli Sumara, Itzar Chaidir Islam, A.M.Ichsan



CHAPTER 2

PEMERIKSAAN DASAR RETINA

Nurul Magfirah Rusli Sumara, Itzar Chaidir Islam, A.M. Ichsan

Oftalmoskop yang juga dikenal dengan sebutan funduskopi merupakan salah satu alat/instrumen yang digunakan dalam pemeriksaan bagian dalam bola mata (fundus). Transparansi dari kornea, lensa dan korpus vitreous memungkinkan pemeriksa untuk melihat secara langsung arteri, vena, nervus optik dan retina, observasi langsung ke bagian dalam bola mata melalui alat funduskopi yang efektif dapat menunjukkan suatu penyakit dari mata itu sendiri ataupun dapat menjadi petunjuk adanya penyakit di bagian tubuh yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa funduskopi merupakan salah satu alat yang sangat bermanfaat dalam menegakkan diagnosis.^{1,2}

Hermann von Helmholtz menemukan funduskop pada tahun 1851 bahwa penyusunan lensa yang spesifik dapat menghasilkan gambaran fundus serta pancaran dan refleksi cahaya dapat membentuk gambaran optik. Oleh karena itu, dapat dibuat suatu alat untuk melihat gambaran optik dari fundus. Sejak Helmholtz pertama kali memperkenalkan funduskop, berbagai jenis funduskop telah dikembangkan dan banyak diantaranya telah diproduksi secara komersil. Berdasarkan cara dan instrument yang dipergunakan, funduskop dibagi menjadi funduskop direk dan funduskop indirek.^{1,2}

Pada tahun 1945 Charles Schepens memperkenalkan funduskop Indirek binocular dengan ikat kepala. Penemuannya merupakan sistem pemeriksaan secara stereoskopis melalui lensa kondensasi dan sumber cahayanya berada pada suatu alat yang diikatkan pada kepala.¹

Funduskop sebagai salah satu instrumen yang digunakan dalam praktek klinis oftalmologi. Pemahaman dari prinsip dan cara kerja funduskop dapat mengoptimalkan penggunaan funduskop sekaligus mengenali kelemahannya.²

I. SEJARAH PERKEMBANGAN FUNDUSKOP

Hermann von Helmholtz lahir tanggal 31 Agustus 1821 di Potsdam Jerman. Helmholtz menyelesaikan pendidikan kedokterannya tahun 1843 di Berlin Jerman, dan menjadi dokter, serta menjadi guru dan peneliti. Dalam penelitiannya Helmholtz memperhatikan bahwa normalnya pupil terlihat hitam, namun pada kondisi tertentu pupil terlihat kemerahan dan memancarkan cahaya. Hal ini meyakinkannya bahwa cahaya yang terpancar tersebut tidak lebih akibat pantulan cahaya.³ Berdasarkan pengalaman para pendahulunya, Helmholtz mencoba menganalisa bagaimana pancaran cahaya tersebut membentuk gambaran optik kemudian menghasilkan gambaran optik dari fundus dengan membuat suatu alat yang dapat memungkinkan matanya sendiri berada tepat satu garis dengan sinar cahaya yang masuk dan keluar dari mata pasien.¹

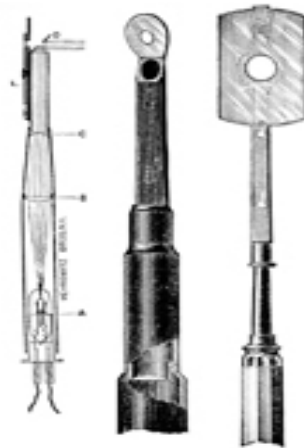


Gambar 21. Funduskop pertama oleh Helmholtz.

Helmholtz menyebut instrumen barunya dengan "Augenspiegel" (cermin mata). Alat ini terdiri dari sebuah lensa dan sebuah cermin untuk memantulkan cahaya. Alat ini digunakan untuk mengevaluasi retina dan struktur di sekitarnya.³ Terdapat 3 komponen utama dari suatu funduskop:

1. Sumber cahaya.
2. Cermin untuk mengarahkan cahaya memasuki mata.
3. Alat untuk memfokuskan gambaran dari retina.

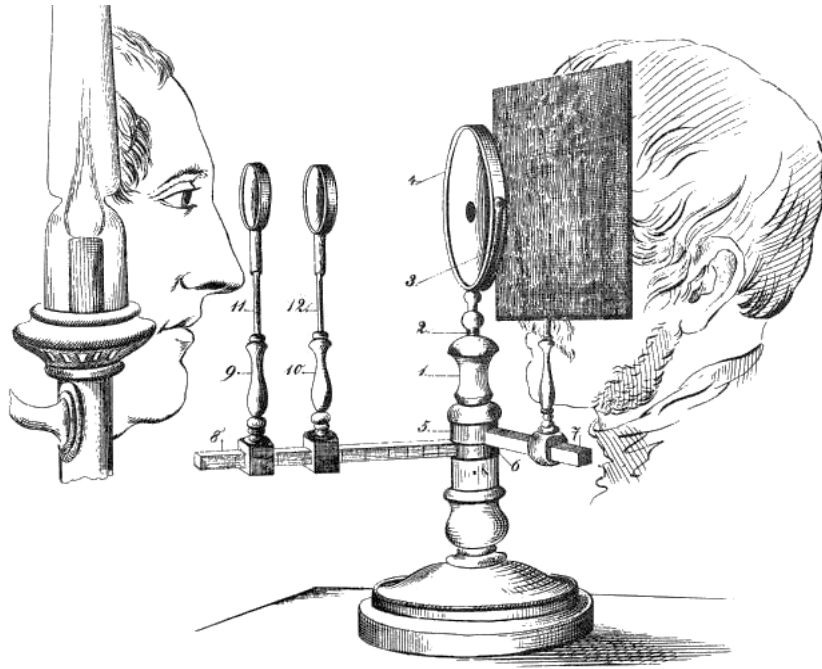
Pada masa awal, sumber cahaya untuk funduskop berasal dari cahaya lilin kemudian segera digantikan cahaya dari lampu minyak. Maressal de Marsilly of Calais tahun 1852 pertama kali memperkenalkan sebutan “*Ophthalmoscope*” yang kemudian digunakan hingga sekarang. Tahun 1879, setelah Thomas Edison menemukan bohlam lampu, terjadilah perubahan besar dalam bentuk funduskop. Bohlam lampu mulai diintegrasikan ke dalam alat funduskop, namun teknologi ini masih kurang memadai dikarenakan saat itu usia bohlam lampu masih sangat singkat.^{3,4}



Gambar 22. Funduskop pertama kreasi Dr. William Dennet.
(Mengintegrasikan bohlam lampu di dalam badan funduskop, tahun 1885)

Orang pertama yang memperkenalkan penggunaan cermin cekung dengan lubang pada funduskop adalah Christian Georg Theodor Ruete dari Leipzig Jerman. Ruete juga yang pertama kali membuat instrumen dengan metode funduskop indirek (Gambar 24). Walaupun metode ini telah diperkirakan oleh Helmholtz, namun Ruete lah yang menjadikannya terwujud.⁴

Sejak itu, pada hakekatnya semua funduskop dapat digunakan baik yang dengan cara direk maupun indirek. Satu masalah pada masa awal funduskop direk dengan sumber cahaya yang ditempatkan di samping adalah perlunya memiringkan cermin supaya cahaya dapat dipantulkan masuk ke mata pasien. Akibatnya pemeriksa melihat fundus secara oblik melalui lensa koreksi. Bila koreksi lensanya rendah, tidak menjadi masalah namun bila koreksi lensanya tinggi dapat memberikan gambaran yang tidak fokus dan juga bergeser akibat efek prisma.^{3,4}



Gambar 23. Instrumen Theodor Ruete dengan metode funduskopi indirek.

Tahun 1875, John Couper dari Rumah Sakit Mata Royal London, menyelesaikan masalah ini dengan memisahkan piringan bulat tempat lensa dengan cermin (Gambar 25) sehingga pemeriksa dapat melihat dari bagian tengah lensa secara perpendicular.⁵

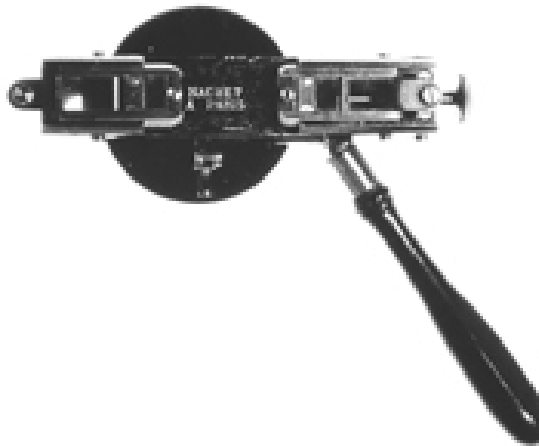


Gambar 24. Funduskopi John Couper.

Pada tahun 1869, Loring membuat funduskop pertamanya menggunakan 3 piringan Recoss yang dapat ditukar-tukar, masing-masing dengan 8 lensa. Satu piringan berisi lensa cekung dengan kekuatan

moderat sedangkan yang lain berisi lensa cembung dengan kekuatan rendah serta piringan lensa dengan kekuatan tinggi baik cembung maupun cekung. Dengan adanya berbagai kekuatan lensa ini, memungkinkan pemeriksa memperkirakan kesalahan refraktif dari pasien selama pemeriksaan fundus dengan mengubah kekuatan lensa hingga ditemukan gambaran fundus yang jelas. Refraktif eror dari pemeriksa dapat ditambahkan maupun dikurangi kekuatannya dengan mengubah piringan lensa yang ada pada funduskop.^{3,5}

Funduskop indirek binokuler pertama kali ditemukan oleh Marc-Antoine Giraud Teulon dari Perancis (1861) (Gambar.26) Namun dikarenakan penggunaannya yang sulit ditambah lemahnya sumber cahaya yang berasal dari lampu gas saat itu menyebabkan model binocular tidak populer.^{3,4}



Gambar 25. Funduskop indirek binokuler edisi pertama.

Popularitas dari Funduskop Indirek binocular harus menunggu beberapa puluh tahun sampai Charles Schepens membuat funduskop indirek binokuler pertamanya yang menggabungkan sumber cahaya yang lebih baik (tahun 1947). Lewat penemuannya, Schepens mengajarkan tentang keuntungan dari funduskop indirek berupa pemeriksaan secara stereoskopis dan lebih luasnya lapang pandang pemeriksaan. Pada tahun 1968 funduskop dengan konsep berbeda ditawarkan oleh perusahaan American Optikal yaitu funduskop indirek monocular (Gambar 27).^{3,4}

Alat ini menghasilkan gambaran yang tegak dan lapangan pandang pemeriksaan yang lebih besar dibandingkan funduskop direk yang

konvensional. Mereka juga menyatakan bahwa alat ini mampu memeriksa fundus lewat pupil yang kecil.^{3,4}



Gambar 26. Charles Schepens dengan funduskop indirek binocular buatannya.

Pada tahun 2001, perusahaan Welch Allyn mengeluarkan desain baru funduskop yang dinamakan Panoptik (Gambar 29).



Gambar 27. Funduskop Panoptik.

Alat yang menyerupai bentuk palu ini mampu menghasilkan gambaran fundus langsung dengan lapangan pandang pemeriksaan 25° atau 5 kali lebih luas dari funduskop direk konvensional. Alat ini juga mampu memeriksa fundus lewat pupil yang kecil.

II. JENIS-JENIS FUNDUSKOP MODERN

A. FUNDUSKOP DIREK

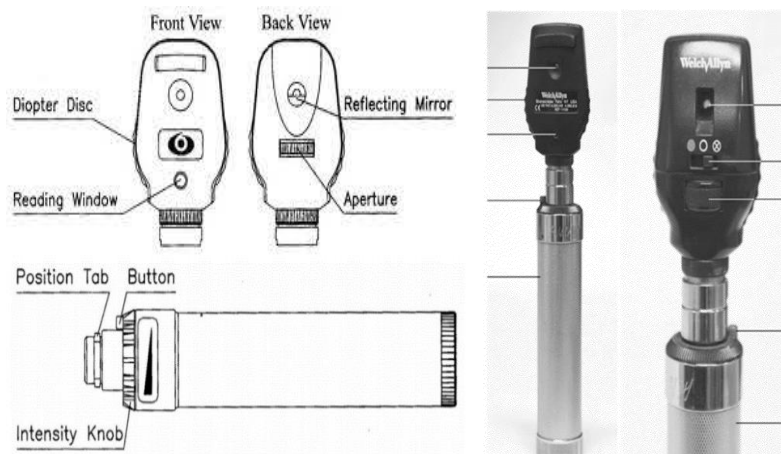
Melalui funduskop direk ini pemeriksa dapat mengamati langsung gambaran segmen posterior bola mata dengan pembesaran yang tinggi namun luas lapangan pemeriksaan yang kecil. ¹

Funduskop direk terbagi 2, yaitu :

1. Funduskop direk ko-aksial
2. Funduskop direk panoptik

1. PRINSIP KERJA FUNDUSKOP DIREK

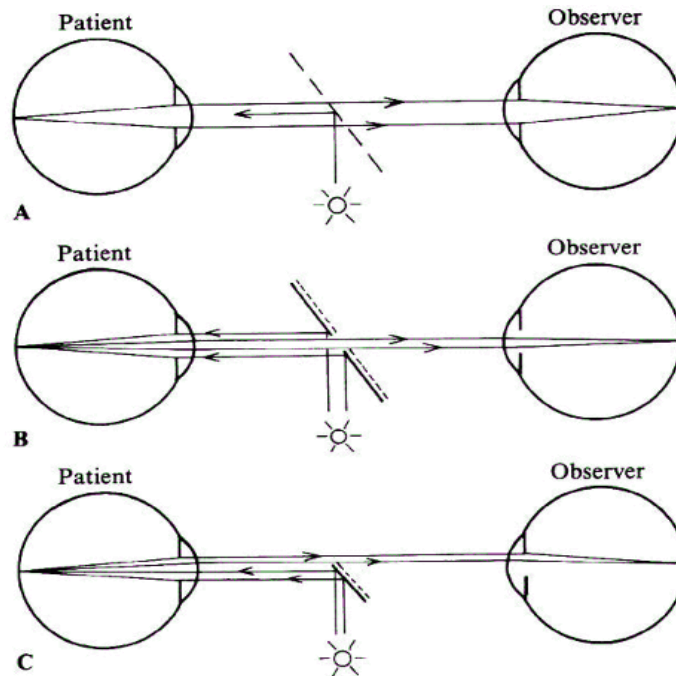
Prinsip dasar funduskop direk cukup sederhana. Jika mata pasien emetrop, maka sinar cahaya yang berasal dari suatu titik di retina pasien merupakan cahaya yang paralel. Jika cahaya tersebut masuk ke pupil pemeriksa yang juga emetrop, maka cahaya tersebut akan difokuskan ke retina pemeriksa dan membentuk gambaran retina pasien tepat di retina pemeriksa. ^{1,3,4}



Gambar 28. Funduskop Direk ko-aksial.

Bila mata pasien myopia, maka cahaya yang berasal dari retina pasien akan konvergen sehingga membutuhkan lensa cekung untuk membuat cahaya tersebut paralel sebelum memasuki pupil pemeriksa sehingga akan terbentuk gambaran yang fokus pada retina pemeriksa. Sedangkan pada pasien dengan hyperopia dibutuhkan lensa cembung.

Pada funduskop direk modern, lensa yang dibutuhkan tersebut telah diintegrasikan ke dalam badan funduskop dan dapat di sesuaikan penggunaannya.³



Gambar 29. Metode iluminasi pada funduskop direk.
 (A) Iluminasi menggunakan cermin semirefleksi (Helmholtz); (B) Iluminasi dengan cermin berlubang (Epkens, Ruete); (C) Iluminasi dengan cermin kecil atau prisma (modern)

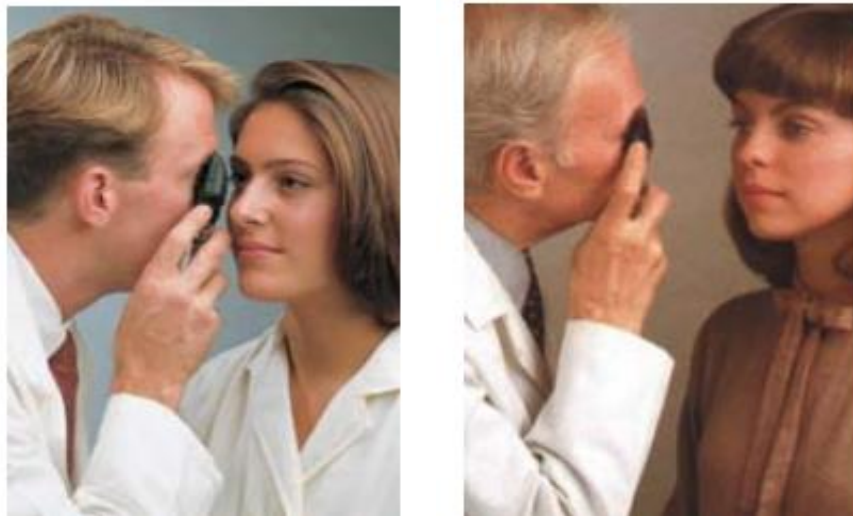
IC's note !

- Tujuan pemeriksaan funduskopi: pada beberapa kasus, pemeriksaan funduskopi harus dilakukan dengan tujuan untuk mendeteksi perdarahan, eksudasi dan/atau edema pada struktur bola mata. Pemeriksaan funduskopi harus diawali dengan "informed consent" dan penjelasan terutama mengenai tujuan, cara pemeriksaan (termasuk posisi duduk pasien dan pemeriksa) serta manfaat klinis bagi pasien.

2. METODE PENGGUNAAN FUNDUSKOP DIREK COAXIAL⁶

- Untuk memeriksa mata kanan, pemeriksa duduk/berdiri di depan kanan pasien.
- Pilih angka 0 pada pengatur lensa dan mulailah dari aperture cahaya yang kecil.

- c) Genggam funduskop secara vertikal dengan tangan kanan dan tempatkan jari telunjuk pada pengatur lensa agar mudah mengubah kekuatan lensa bila perlu.
- d) Redupkan atau matikan lampu ruangan. Instruksikan pasien untuk melihat lurus ke objek yang jauh di depan.
- e) Posisikan funduskop sekitar 6 inchi (15 cm) di depan dan sedikit ke lateral pasien ($15-20^\circ$) Arahkan cahaya lampu funduskop langsung ke pupil. Suatu "refleks" kemerahan seharusnya terlihat pada pupil.



Gambar 30. Posisi dan jarak pemeriksaan funduskop direk ko-aksial.

- f) Letakkan tangan kiri pada dahi pasien lalu buka kelopak mata atas menggunakan jari jempol. Sementara mata pasien terfiksasi melihat objek tertentu yang lurus dan jauh, pertahankan "refleks" dalam pandangan dan perlahan maju mendekati mata pasien. Bila gambaran retina belum fokus, putar lensa menggunakan jari telunjuk hingga retina terlihat jelas. Bila hyperopia perlu lensa "plus" (nomor warna hijau) sedangkan myopia perlu lensa "minus" (nomor warna merah).
- g) Untuk memeriksa bagian perifer retina, arahkan pasien untuk melihat ke atas untuk mengevaluasi retina superior, pasien melihat ke bawah untuk mengevaluasi retina inferior, pasien melihat ke

temporal untuk mengevaluasi retina bagian temporal dan pasien melihat ke nasal untuk mengevaluasi retina bagian nasal.



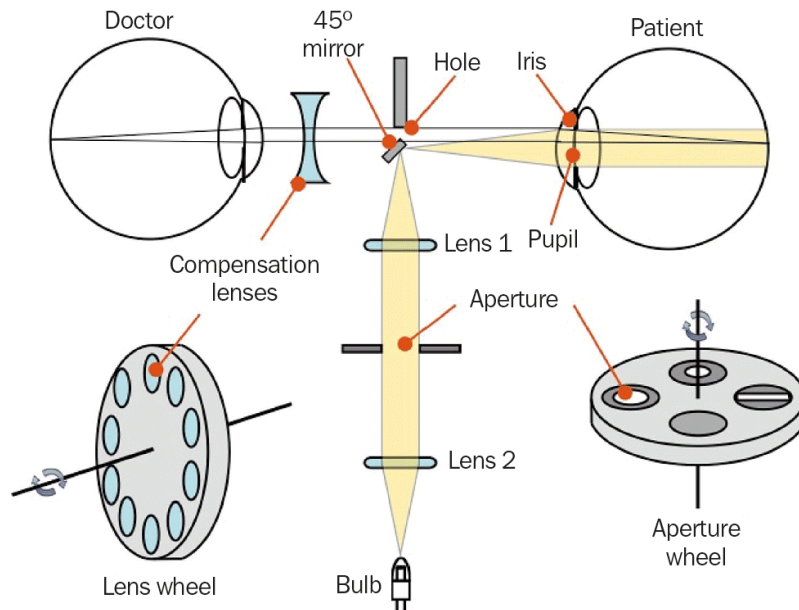
Gambar 31. Pengaturan lensa pada pemeriksaan funduskop direk.

- h) Untuk memeriksa mata kiri pasien, ulangi langkah-langkah di atas namun funduskop di pegang oleh tangan kiri, duduk/berdiri di samping kiri pasien dan gunakan mata kiri untuk memeriksa mata kiri pasien.



Gambar 32. Bagian-bagian alat funduskop.

- | | |
|---------------------|----------------------------------|
| A. Patient Eyecup | D. Aperture/Filter Dial |
| B. Patient's Side | E. Focusing Wheel |
| C. Soft Grip Handle | F. Practitioner's Side Brow Rest |



Gambar 33. Struktur funduskop direk.

3. METODE PENGGUNAAN FUNDUSKOP DIREK PANOPTIK⁶

- a) Genggam Panoptik dengan tangan kanan, sisi pemeriksa diarahkan ke mata pemeriksa. Tempatkan ibu jari pada roda pemfokus. Fokuskan penglihatan pada objek sejauh 20 kaki dengan memutar roda pemfokus.
- b) Atur pilihan aperture/filter ke garis hijau.
- c) Redupkan atau matikan lampu ruangan. Minta pasien untuk melihat lurus ke depan pada objek yang jauh. Tahan Panoptik sejajar mata pemeriksa dan posisikan panoptik sekitar 6 inci (15 cm) di depan dan sedikit ke lateral pasien (15-20°). Arahkan cahaya langsung ke arah pupil. Suatu "reflex" kemerahan seharusnya terlihat pada pupil.
- d) Letakkan tangan kiri pada dahi pasien dan buka kelopak mata atas Pasien dengan ibu jari. Sementara mata pasien terfiksasi melihat objek tertentu yang lurus dan jauh, pertahankan "refleks" dalam pandangan dan perlahan maju mendekati mata pasien sampai penutup mata Panoptik bersandar pada tulang orbita mata pasien.

- e) Diskus optik seharusnya akan terlihat saat mendekati pasien sekitar 1-2 inchi (3-5 cm). Kompresi penutup mata panoptik dengan lembut akan meningkatkan lapangan pandang pemeriksaan. Bila gambaran retina belum fokus, putar roda pemfokus menggunakan jari telunjuk hingga retina terlihat jelas. Bila hyperopia, perlu lensa "plus" (putar ke arah hijau) sedangkan myopia perlu lensa "minus" (putar ke arah merah). Bila kehilangan gambaran optik disk saat mendekati mata pasien, tarik perlahan panoptik, relokasi kembali refleks merah dan coba kembali.
- f) Untuk memeriksa bagian perifer retina, arahkan pasien untuk melihat ke atas untuk mengevaluasi retina superior, pasien melihat ke bawah untuk mengevaluasi retina inferior, pasien melihat ke temporal untuk mengevaluasi retina bagian temporal dan pasien melihat ke nasal untuk mengevaluasi retina bagian nasal. Penting untuk menekan penutup mata ke arah orbita untuk memperluas lapangan pemeriksaan.
- g) Untuk memeriksa mata kiri, ulangi langkah-langkah seperti diatas. Namun bila menggunakan panoptik, untuk memeriksa mata kiri pasien dapat tetap menggunakan mata kanan.



Gambar 34. Metode penggunaan funduskop direk panoptik.



Gambar 35. Perbedaan funduskop direk koaksial dan funduskop direk panoptik.

IC's note !

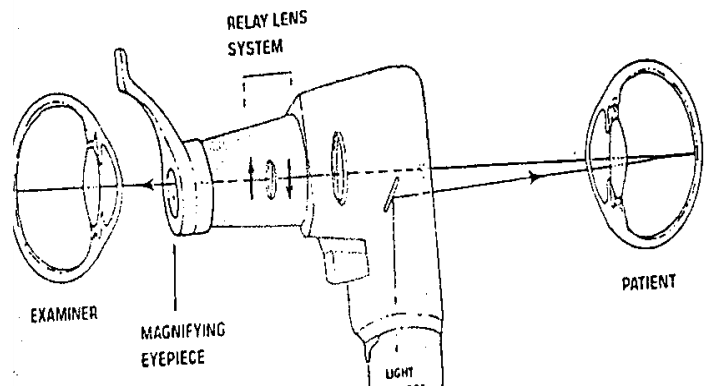
- **Kesalahan-kesalahan yang sering terjadi pada proses pemeriksaan funduskopi direk:**
 - Posisi funduskop yang terlalu dekat dengan bola mata pasien sehingga menimbulkan rasa yang kurang nyaman saat pasien diperiksa.
 - Dokter melakukan pemeriksaan segmen posterior pada pasien dengan keluhan fotosensitif.
 - Seharusnya, dokter dan pasien menggunakan masker saat pemeriksaan untuk menghindari penularan penyakit melalui *air droplet*.

B. FUNDUSKOPI INDIREK

a) INDIREK MONOKULER

Funduskop indirek monokular merupakan instrumen yang menggabungkan kelebihan dari funduskop indirek yaitu bertambah luasnya lapang pandang dengan kelebihan funduskop direk yaitu dihasilkannya bayangan retina nyata tegak (tidak terbalik) sehingga menghasilkan sistem pengamatan funduskopi okuler yang lebih baik. Dengan funduskop indirek monokular, sinar iluminasi yang terefleksi dari fundus perifer akan dikumpulkan dan diarahkan ulang, dimana hal tersebut tidak dapat dicapai dengan

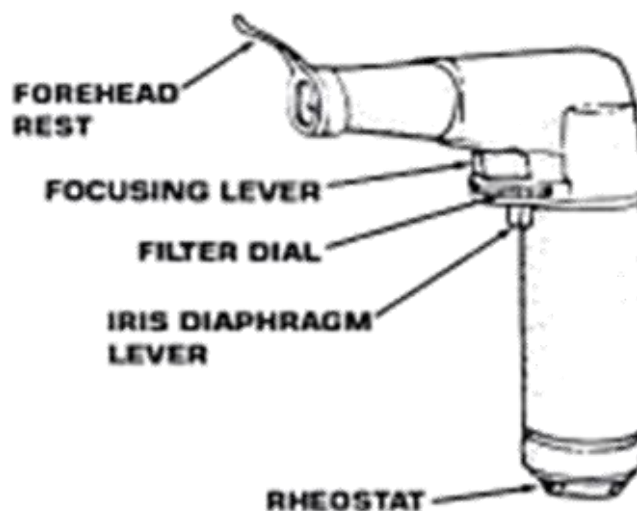
menggunakan funduskop direk, sehingga akan memperluas lapang pandang pemeriksa.^{1,6}



Gambar 36. Prinsip optik dari funduskop indirek monokular.

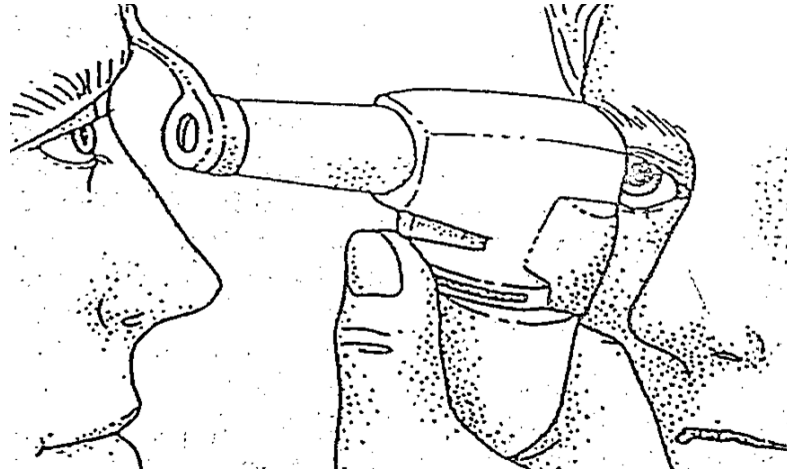
Sistem lensa relay internal akan membalikkan gambaran terbalik menjadi gambaran tegak, yang kemudian diperbesar. Gambaran ini dapat difokuskan menggunakan sistem fokus lever atau eyepiece. Hasil akhirnya adalah oftalmoskop dengan sudut lapangan pandang sebesar 40 sampai 50 derajat (delapan disc diameter) dengan pembesaran kira-kira sebesar 5x.^{3,6}

Funduskop indirek monokular terdiri dari *rheostat* iluminasi pada basisnya, sebuah focusing lever untuk memperbaiki bayangan, sebuah *filter dial* dengan filter tanpa warna merah dan filter warna kuning, *forehead rest* untuk menempatkan kepala pemeriksa pada posisi yang tepat, dan sebuah lever diagram iris untuk mengatur diameter sinar iluminasi.⁶



Gambar 37. Monocular indirek ophthalmoskop.

Kekurangan dari funduskop indirek monokular adalah keterbatasan iluminasi dan magnifikasi, tidak adanya stereopsis serta resolusi yang kurang baik.



Gambar 38. Pemeriksa dengan posisi yang benar, yaitu dengan ibu jari berada pada focusing lever.

b) FUNDUSKOPI INDIREK BINOKULER

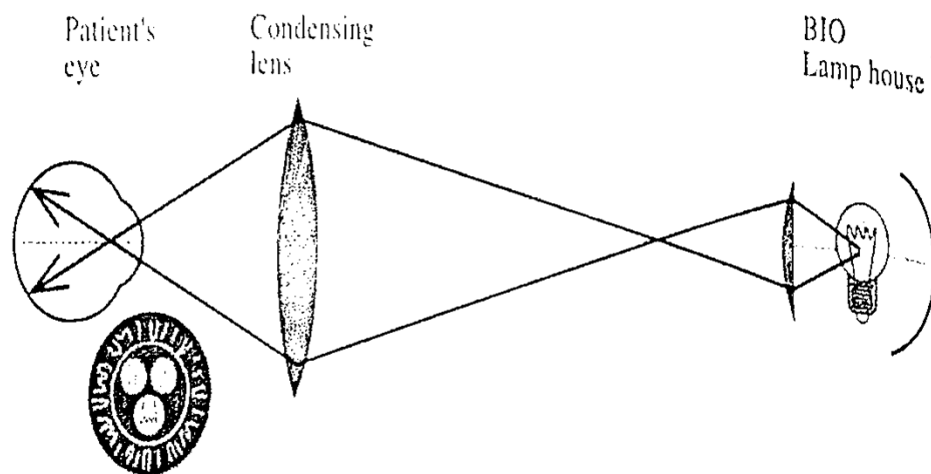
Funduskop indirek binokular memiliki banyak kelebihan, dibandingkan dengan funduskop direk. Funduskopi indirek binokular adalah teknik yang digunakan untuk mengevaluasi keseluruhan fundus okuler stereoskopik dengan menghasilkan lapangan pandang yang lebih luas dan resolusi yang lebih baik.^{1,8,9} Yang terpenting adalah memberikan gambaran tiga dimensi dari daerah retina dan pada saat yang sama mampu menghasilkan lapangan pengamatan retina yang luas, dengan magnifikasi yang lebih kecil dari funduskopi direk.^{3,5,7}

Faktor-faktor ini memberikan keleluasaan dalam mendeteksi lesi yang ada seperti choroidal melanomas, papill edem, glaucomatous disc cupping, dan retinal detachments, sehingga memberikan gambaran yang lebih baik pada pemeriksa mengenai ketepatan lokasi lesi pada retina.^{1,9,10}

Dibandingkan dengan direk ophthalmoscopy, keterampilan penguasaan penggunaan instrumen pada funduskopi Indirek binokular diperlukan, dikarenakan gambaran yang di peroleh adalah terbalik dengan ukuran yang di perkecil.^{7,8}

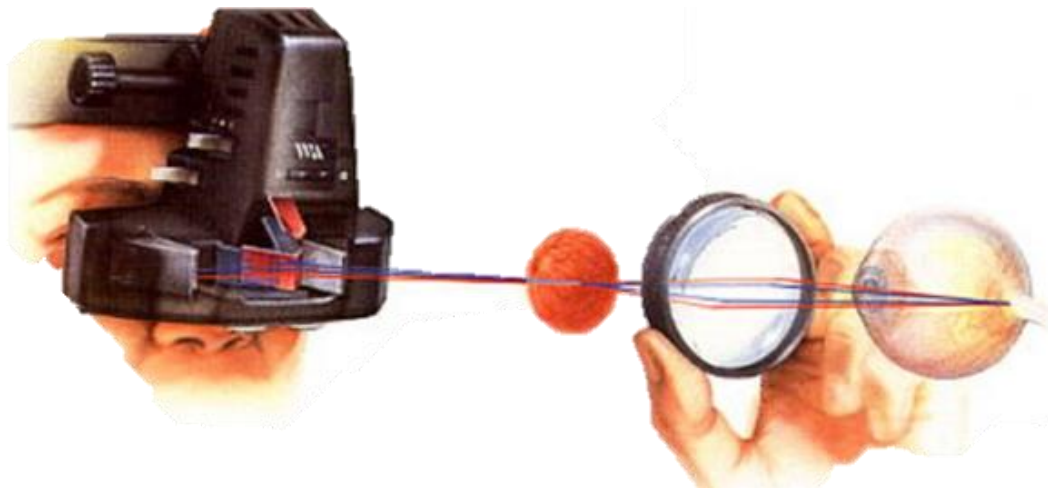
Prinsip dasar kerja instrumen ini dapat dipecah menjadi lima aspek, yaitu:

- a. Iluminasi fundus, yaitu adanya sebuah sumber cahaya dengan kekuatan yang intens akan melalui pupil. Bayangan fundus kemudian diproyeksikan, direfraksikan dengan kekuatan refraksi mata pasien. Mata yang emetrop akan memproyeksikan bayangan fundus menjadi tak terbatas. Selain itu, serangkaian cahaya paralel ini berasal dari mata akan ditangkap dengan lensa pembesar yang digunakan (misalnya +20 D) dan sebuah bayangan baru akan terbentuk pada bidang fokus sekunder (sekitar 5 cm di depan lensa).^{7,8}



Gambar 39. Iluminasi fundus dan condensing lens.

- b. Pembentukan aerial image, yaitu bayangan yang dibentuk oleh lensa pembesar adalah nyata dan terbalik. Bayangan ini memiliki ketebalan, mewakili ketebalan dari fundus tiga dimensi itu sendiri. Pemeriksa hanya akan memusatkan perhatian pada aerial image demi memperoleh bayangan fundus tersebut. Lensa yang dibutuhkan untuk ini adalah lensa yang dapat memperbaiki kesalahan refraksi pemeriksa dan mengoreksi pengamatan jarak dekat ini, sebab aerial image ini akan berada sepanjang jangkauan lengan pemeriksa.^{7,8}



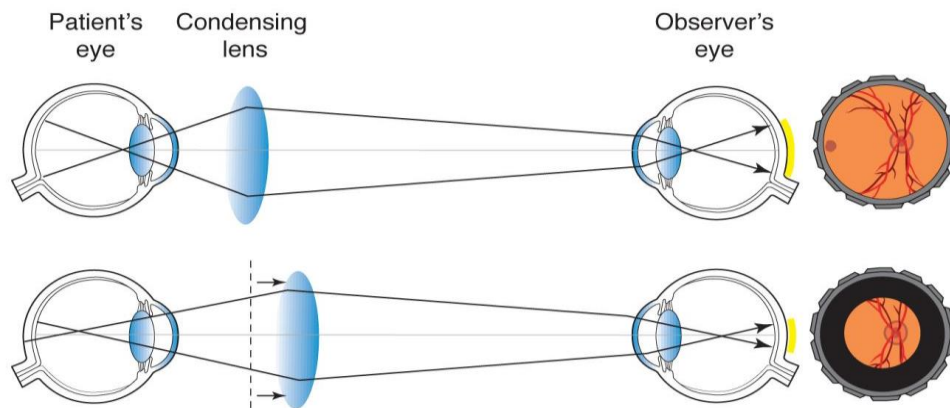
Gambar 40. Pembentukan aerial image.



Gambar 41. Aerial image.

- c. Mempertahankan konjugasi pupil, dimana pupil pemeriksa dan pasien harus dalam keadaan konyugasi secara optik, yaitu pupil pemeriksa harus secara optik terproyeksi ke dalam pupil pasien, dan sebaliknya. Bila ini terjadi, sejumlah cahaya secara maksimal akan melalui fundus pasien menuju mata pemeriksa. Dari posisi ini, bila lensa kondensasi didekatkan ke mata pasien, fundus perifer tidak akan teriluminasi (Gambar 44). Pada pemeriksa, retina perifer akan menjadi gelap. Bila lensa kondensasi dijauhkan dari mata pasien, cahaya dari retina perifer tidak akan mencapai mata pemeriksa dan

sekali lagi retina perifer akan terlihat gelap oleh pemeriksa (Gambar 45).^{7,8}



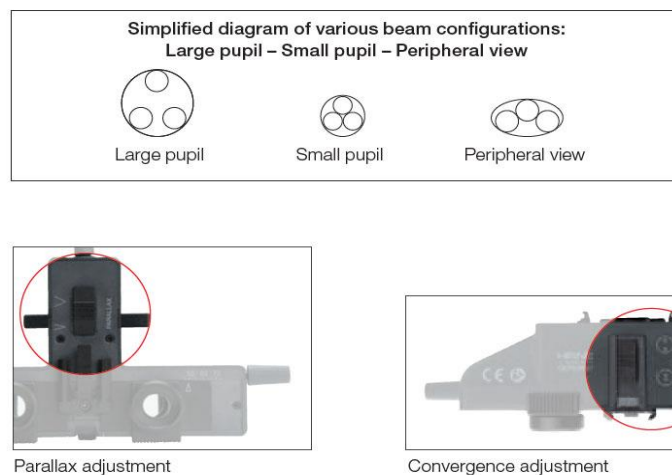
Gambar 42. Bayangan retina perifer yang gelap jika jarak cahaya lensa dijauhkan.



Gambar 43. Gambaran ideal fundus yang memenuhi seluruh lensa kondensasi.

- d. Sumber iluminasi, di mana lensa pembesar yang sama juga harus memproyeksikan bayangan dari sumber iluminasi ke dalam mata pasien, ini harus dilakukan sedemikian rupa sehingga daerah pupil pasien tidak ditutupi oleh cahaya yang keluar, bila terjadi sebaliknya akan timbul glare.^{7,8}
- e. Observasi binokuler, untuk menilai gambaran tiga dimensi *aerial image*, kedua pupil pemeriksa harus dapat menerima cahaya dari aerial image. Hal ini dapat terjadi bila kedua pupil pemeriksa

terproyeksi pada pupil pasien. Untuk mencocokkan kedua pupil pemeriksa pada ruang yang kecil itu, jarak interpupil dikurangi dengan penggunaan cermin. Bila pupil pasien tidak dilatasi dengan baik, bayangan pupil pemeriksa harus diperkecil. Hal ini dapat tercapai dengan menarik cermin triangular dari funduskopi Indirek binokuler. Hal ini akan menyebabkan lintas cahaya dari mata pasien direfleksikan lebih dekat ke ujung cermin triangular, menghasilkan lintas cahaya yang lebih sempit. Efek yang serupa dapat diperoleh dengan memperluas jarak interpupil dari funduskopi Indirek binokuler. Hal ini sekali lagi, akan menyebabkan cahaya dari mata pasien dipantulkan lebih dekat ke ujung cermin triangular, menghasilkan lintas cahaya yang lebih sempit.^{7,8}



Gambar 44. Observasi binokuler.

Dengan mengkombinasikan instrumen ini dengan lensa kondensasi, akan memiliki prinsip kerja yang serupa dengan teleskop astronomik, di mana kornea dan lensa pasien menjadi lensa objektif, dan lensa kondensasi sebagai lensa eye-piece teleskop. Akan tetapi, lensa yang terlalu kecil akan menghabiskan banyak cahaya, misalnya lensa 55 D, di mana semua cahaya akan masuk ke dalam lensa kondensasi. Umumnya lensa yang digunakan adalah lensa +20D. Untuk memperoleh gambaran papil nervus optik dan makula yang lebih jelas dapat digunakan lensa +14D atau +16D. Untuk memperoleh lapangan pandang lebih luas pada pupil yang kecil, dapat digunakan lensa +30D.^{7,8}

Ada beberapa metode dalam melakukan funduskopi Indirek binokuler, yaitu dengan menggunakan :

1. Head set dan *condensing lens*
2. Slit lamp dan *contact lens*
3. Slit lamp dan *condensing lens* (*slit lamp* biomikroskopi)

Dengan menggunakan head set dan *condensing lens*, pemeriksaan dapat dilakukan dengan lebih fleksibel. Gambaran yang diperoleh juga terbalik tetapi dengan magnifikasi yang lebih besar (1.67-4.11x), lapang pandangan yang lebih kecil (statis 36-69°, dinamis 47-90°). Lensa pembesar yang digunakan umumnya adalah +20D yang memberikan magnifikasi sebesar 3x dan sudut lapang pandangan sebesar 40° / 60°. ^{2,4}

Posisi head set yang tepat amat penting dalam memperoleh gambaran binokuler. Pengaturan jarak interpupil dan posisi iluminasi dilakukan pada jarak 40 cm, dimana akan terbentuk aerial image. Untuk aperture beam disesuaikan dengan ukuran pupil dan kejernihan media refraksi. Untuk menghindari kerusakan retina yang permanen akibat penyinaran pada satu area dilakukan tidak lebih dari 40 detik. ^{1,8}

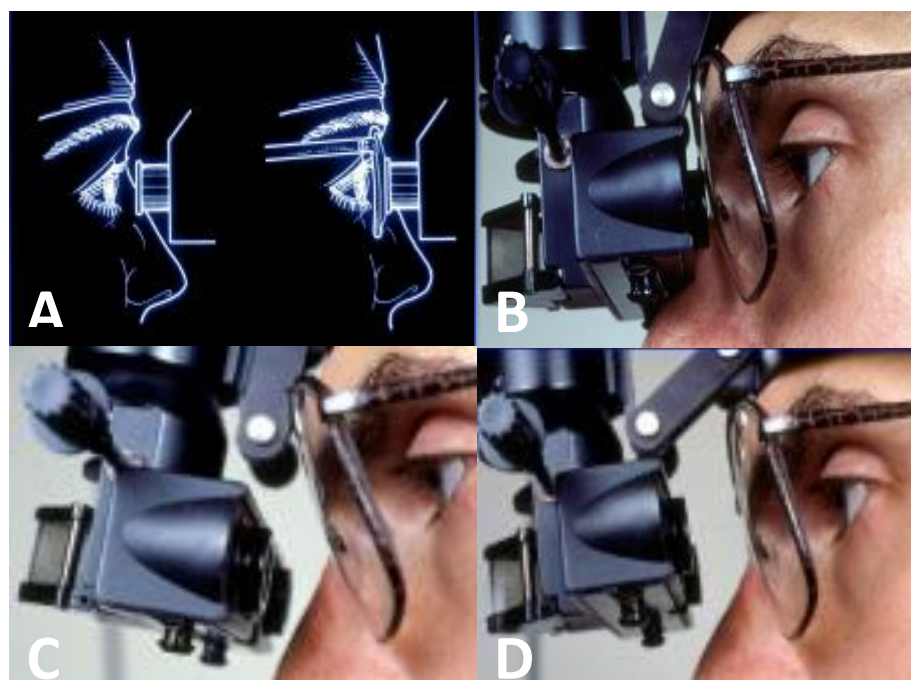
Untuk mendapatkan gambaran terbaik pasien sebaiknya diperiksa dalam keadaan supine. Sedangkan untuk memperoleh gambaran retina perifer dapat dilakukan indentasi sklera, yaitu dengan depresi bola mata secara lembut, sehingga dapat diperoleh gambaran ora serrata. ^{3,4}

METODE PENGGUNAAN FUNDUSKOPI INDIREK BINOKULAR^{2,3}

1. Pasang *head band* funduskopi indirek binokuler di kepala pemeriksa. Atur posisi bagian mata “eye piece” sedekat mungkin ke mata atau kacamata pemeriksa (seperti pada gambar 47A).
2. Nyalakan cahaya funduskopi dengan memutar rheostat
3. Atur pupillary distance secara bergantian pada masing-masing mata terlebih dahulu dengan menematkan ibu jari sekitar 30-40 cm di depan “eye piece” hingga ibu jari berada di tengah pandangan. Kemudian buka kedua mata, seharusnya nampak satu ibu jari (pandangan binocular) yang jelas. Pilih level iluminasi dan besar

aperture. Pada awal pemeriksaan pilih iluminasi terendah (tingkat cahaya dapat ditambah saat mata pasien sudah beradaptasi).

4. Pegang lensa kondensasi dengan tangan yang dominan, antara ibu jari dan jari telunjuk. Sisi lensa kondensasi yang cembung di hadapkan ke pemeriksa. Beberapa perusahaan telah menandai lensa dengan garis perak atau putih yang artinya bagian tersebut di hadapkan ke sisi pasien atau bagian bawah dari tulisan pada lensa kondensasi di hadapkan ke sisi pasien.



Gambar 45. Posisi mata pada pemeriksaan funduskopi inderik binokular. A-B (Gambar posisi mata yang tepat), C-D (Gambar posisi mata yang salah)

5. Redupkan atau matikan lampu ruangan. Pasien diminta untuk melihat lurus ke arah langit-langit bila pasien berbaring terlentang atau melihat lurus sejajar bahu pemeriksa bila pasien duduk.
6. Posisikan kepala pemeriksa sedemikian hingga cahaya tepat di tengah pupil pasien. Bila media refraksi tidak terlalu keruh, akan nampak refleks fundus orange kemerahan pada pupil.



Gambar 46. Menilai fokus cahaya dengan cara mengatur jarak pupil pemeriksa.

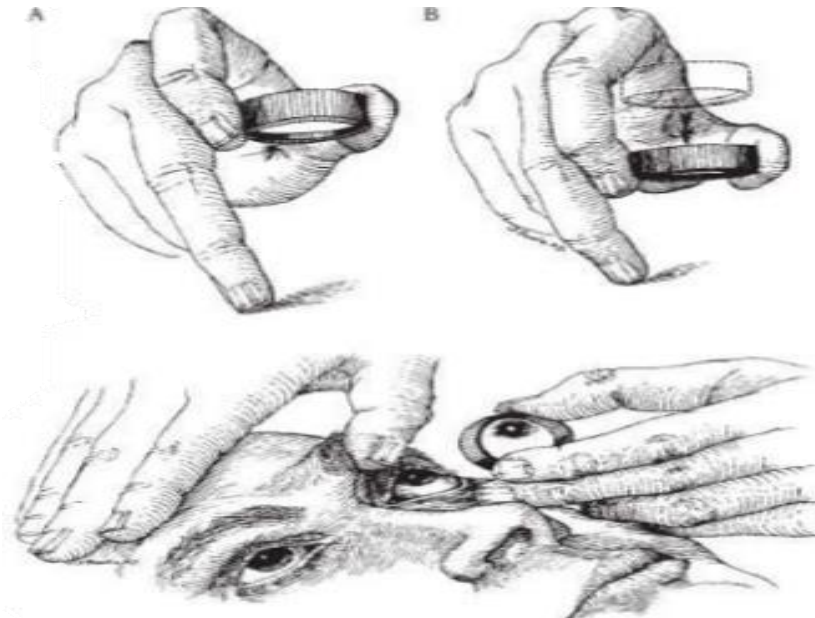


Gambar 47. Lensa Kondensasi.

7. Letakkan lensa kondensasi sekitar 2-3 cm di atas mata pasien dan segaris dengan cahaya fundus serta pupil. Gerakkan perlahan lensa kondensasi ke atas, menjauhi mata pasien hingga terlihat gambaran detail fundus memenuhi lensa kondensasi.
8. Secara umum, saat memeriksa pasien dengan posisi berbaring, lensa dipegang tangan kanan dan berdiri di samping kanan pasien. Begitu pula sebaliknya.
9. Secara sistematis, periksa polus posterior kemudian seluruh kuadran retina. Gambaran yang dihasilkan pada polus posterior

adalah terbalik dan lateral terbalik (superior terlihat di inferior dan temporal terlihat di nasal).

10. Bila ingin memeriksa bagian superior, minta pasien melihat ke atas (arah jam 12) dan karena gambar yang terbentuk terbalik maka pemeriksa akan melihatnya pada sisi jam 6 di lensa kondensasi.



Gambar 48. Posisi tangan saat memegang lensa kondensasi.



Gambar 49. Arah mata pasien pada pemeriksaan funduskopi menggunakan lensa kondensasi.

11. Bila ingin memeriksa bagian lateral, minta pasien melirik ke lateral dan seterusnya.

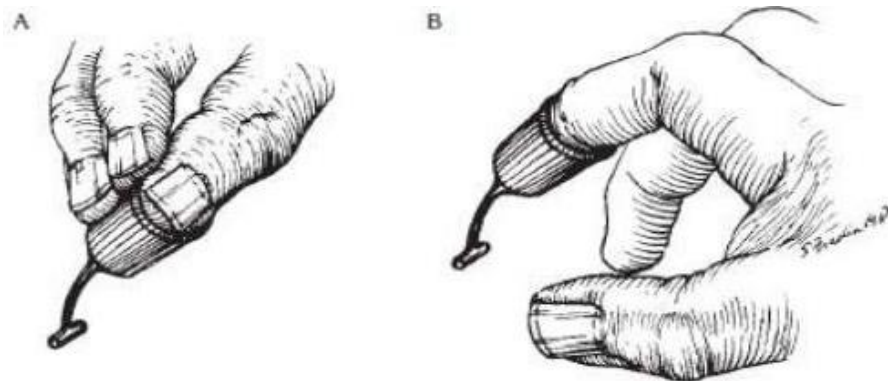
Tabel 4. Rangkuman perbedaan bentuk dan fungsi funduskopi.

Perbandingan	Funduskop direk	Funduskop indirek monokular	Funduskop indirek binokular
Gambaran	Tegak/tidak terbalik	Tegak/tidak terbalik	Terbalik
Pembesaran	Tinggi (15 x) Panoptik (5 x)	5 x	2,5 x (bervariasi)
Luas lapangan pemeriksaan	Rendah (10 °)	40° - 45°	40° - 45°
Ekuivalen ukuran diameter disk (DD)	2 dd	8 dd	8 dd
Ukuran pupil	Dapat tidak dilatasi	Dapat tidak dilatasi	Perlu dilatasi
Stereopsis	Tidak stereopsis	Tidak stereopsis	Stereopsis
Resolusi	Baik	Lumayan baik	Sangat baik
Jarak kerja	Sangat dekat	Agak dekat	Sejangkauan lengan

C. METODE INDENTASI SKLERA³⁻⁶

Untuk melihat area sangat perifer yaitu ora serrata, dapat dilakukan indentasi pada sclera

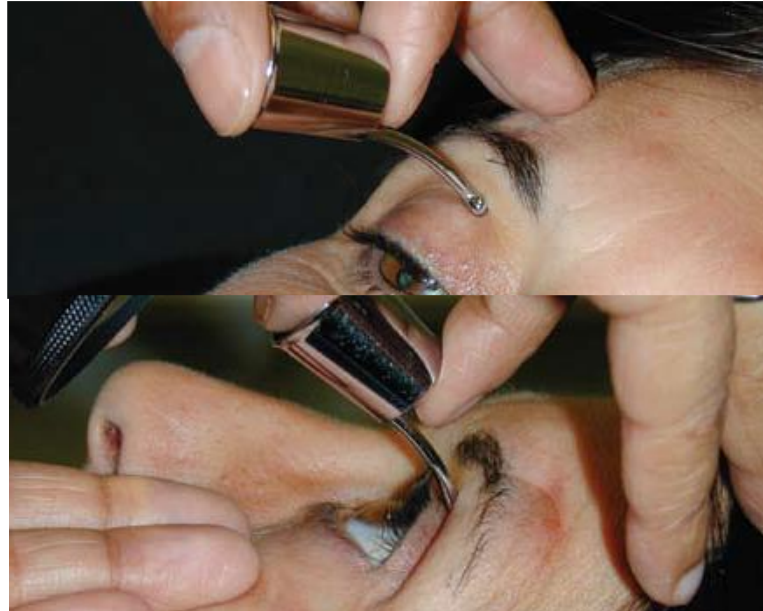
1. Dua cara untuk memegang sarung jari indentor seperti pada gambar A atau B di bawah.



Gambar 50 Teknik pemasangan indentor pada jari.

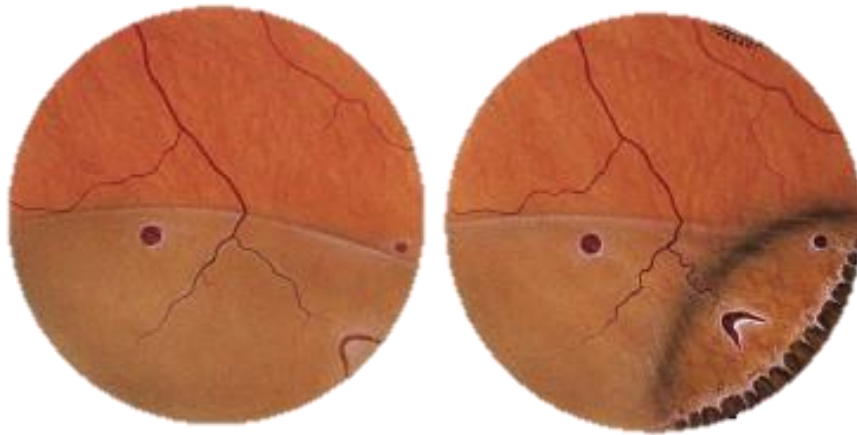
2. Bila melakukan indentasi sklera, pasien sebaiknya posisi berbaring.
3. Indentor dipegang oleh tangan yang tidak memegang lensa kondensasi.

4. Minta pasien untuk melihat ke arah yang berlawanan dengan area yang akan di indentasi, kemudian letakkan ujung indenter sedikit di atas lempeng tarsal.



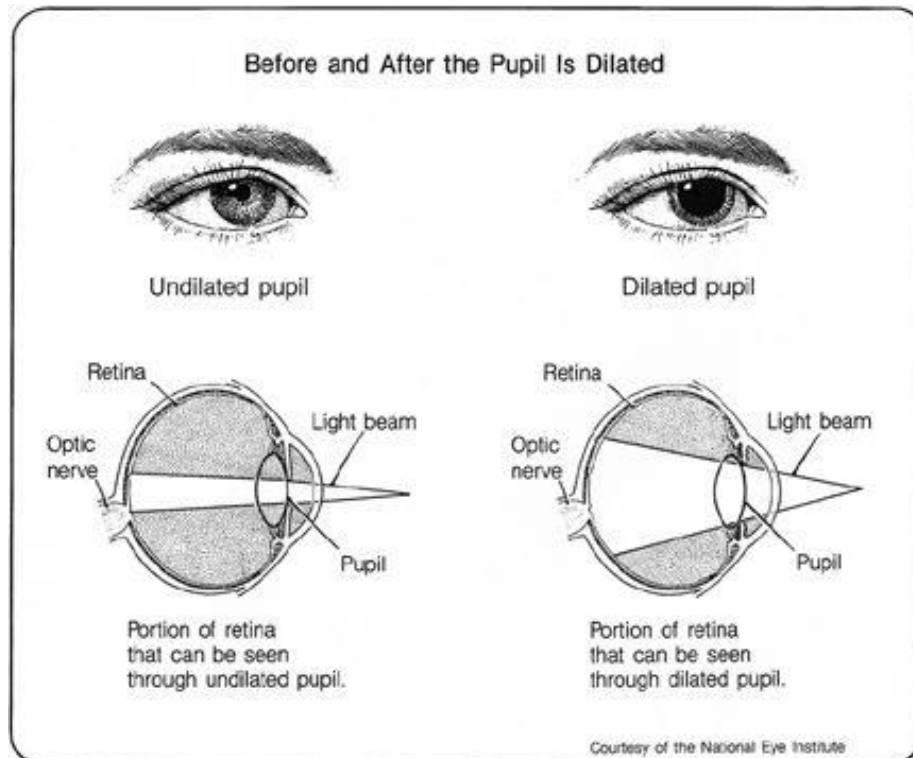
Gambar 51. Prosedur indentasi sklera.

5. Minta pasien melirik ke arah regio yang akan di indentasi dan iarkan indenter bergerak mengikuti mata.
6. Tempatkan lensa kondensasi dan pastikan indenter segaris dengan aksis visual.
7. Sembari melihat lensa kondensasi, lakukan sedikit penekanan pada sklera dan amati gundukan yang dibuat oleh tekanan indenter.
8. Indenter secara konstan di pindah atau digeser sambil dilakukan pengamatan terhadap retina.
9. Semua teknik di atas dilakukan di setiap sisi jarum jam pada posisi arah jam 3 dan jam 9 dapat diperiksa dengan menarik kelopak atas atau bawah menggunakan indenter ke arah yang dibutuhkan.
10. Gambar 55 di bawah menunjukkan dengan dilakukannya indentasi sklera dapat terlihat adanya robekan pada retina.



Gambar 52. Tampilan visualisasi robekan pada retina yang lebih jelas.

Pemeriksaan funduskopi pada mata yang terbaik adalah lewat pupil yang lebar atau dilatasi, terutama pada pasien bayi, anak-anak dan usia tua. Sebaiknya semua pupil dilebarkan sebelum pemeriksaan kecuali terdapat kontraindikasi berupa alergi terhadap komponen dalam obat-obat dilator atau adanya sudut bilik mata yang sempit yang dapat menimbulkan glaukoma akut.⁸



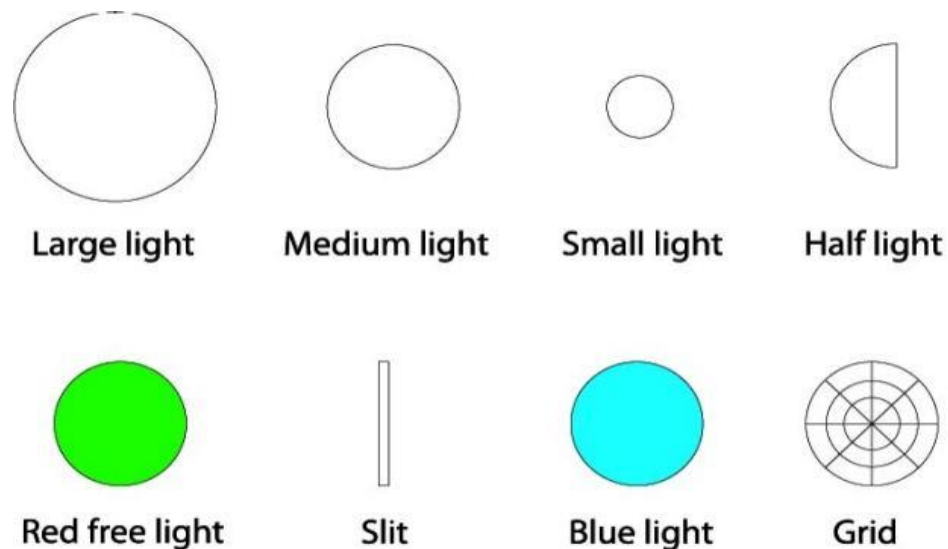
Gambar 53. Gambaran sebelum dan setelah dilakukan dilatasi pupil.

Sebagai catatan walaupun sudah dilatasi, hanya kira-kira sepertiga bagian dari fundus dapat dilihat oleh funduskop direk. Untungnya area polus posterior yang paling bisa terlihat, merupakan tempat berbagai penyakit sistemik seperti hipertensi dan diabetes, termasuk area diskus optik dan makula. Bila penyakit di area perifer seperti robekan atau ablasio dicurigai, teknik pemeriksaan lain seperti funduskop indirek dengan indentasi harus digunakan.⁹

D. APERTURA DAN FILTER

Pada funduskopi baik direk maupun Indirek dilengkapi dengan roda pilihan untuk aperture maupun filter yang dapat digunakan untuk tujuan berbeda. Jenis aperture/filter yang ada pada tiap funduskopi dapat berbeda sesuai dengan tipe dan merek perusahaan pembuat funduskopi.^{5,6}

a) **Ukuran cahaya *Large/Medium/Small***: Funduskopi biasanya memiliki 2 atau 3 ukuran cahaya untuk digunakan tergantung ukuran pupil. Cahaya kecil (*small*) digunakan saat pupil konstriksi (misalnya karena ruangan yang terang atau tanpa penggunaan midriatil). Cahaya yang besar (*large*) pada pupil yang dilatasi. Kebanyakan cahaya sedang (*medium*) digunakan ruangan yang gelap dan pupil tanpa dilatasi.



Gambar 54. Ukuran cahaya pada funduskop.

- b) **Cahaya separuh/*Half light***: Digunakan misalnya pada saat ada kekeruhan pada sebagian lensa karena katarak. Cahaya separuh dapat dipakai untuk melewati sisi lensa yang masih jernih untuk menghindari terjadinya pantulan cahaya.
- c) **Cahaya bebas merah/*Red free***: Digunakan untuk melihat pembuluh darah atau perdarahan dengan lebih detail melalui peningkatan kontras. Cahaya ini akan membuat retina terlihat hitam putih.
- d) **Cahaya Slit/*Slit beam***: Digunakan untuk mengevaluasi bentuk permukaan yang abnormal pada kornea, lensa dan retina.
- e) **Cahaya biru/*Blue light***: Tidak semua funduskopi dilengkapi dengan filter ini. Cahaya ini dapat digunakan untuk mengevaluasi adanya abrasi kornea atau ulkus kornea pada tes *fluorescein*.
- f) **Kisi-kisi/*Grid***: Digunakan untuk membuat perkiraan kasar dari jarak relatif antar lesi di retina.

IC's note !

- **Pemeriksaan funduskopi pada pasien pediatri**: Pada pasien anak, pemeriksaan fundus dapat dilakukan menggunakan beberapa alat seperti *alfonso speculum*, *flynn scleral depressor*, *portable slit lamp*, serta lensa 28 diopter atau 30 diopter.

E. SLIT LAMP BIO-MICROSCOPY

Selain menggunakan funduskopi seperti yang telah diterangkan di atas, dapat pula dilakukan dengan menggunakan slit lamp dan lensa kondensasi berkekuatan besar. Lensa yang paling banyak digunakan adalah +60D sampai +90D yang berupa permukaan asferis ganda untuk meningkatkan daya visualisasi optik, menghasilkan magnifikasi sebesar 0,87-1,32x. Gambaran yang terbentuk seperti pada funduskopi indirek binokuler yaitu terbalik secara inferior-superior dan medial-lateral.^{5,8}

Penggunaan lensa di sini adalah untuk mengarahkan cahaya agar jatuh tepat pada pupil pasien dan kemudian mengumpulkan sinar

cahaya paralel yang berasal dari pupil pasien, menuju titik fokus lensa. Semakin besar kekuatan lensa, semakin besar lapang pandangan yang terbentuk, namun dengan magnifikasi yang lebih kecil. Dengan demikian diameter lensa yang lebih kecil untuk meminimalkan aberasi sferis sehingga lensa harus diletakkan lebih dekat ke mata pasien sehingga didapatkan lapang pandangan perifer retina yang optimal. Demikian pula sebaliknya dengan lensa pembesar berkekuatan kecil.^{7,8}

Kekuatan lensa terbaik bersifat individual. Lensa +60D baik untuk pandangan dengan magnifikasi yang lebih besar sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi *glaucomatous disc* dan masalah makula. Sedangkan lensa +78D menghasilkan magnifikasi yang lebih besar. Untuk mengobservasi pupil yang tidak dilatasi dapat digunakan lensa +90D.^{7,8}

Keterbatasan dari binokular indirek oftalmoskop adalah pembesaran yang tidak memadai untuk dapat mendeteksi kelainan retina yang kecil, khususnya lesi makula yang tidak begitu jelas, misalnya mikroaneurisma retina, kista fovea, dan robekan retina bulat berukuran kecil. Area kecil dari neovaskularisasi subretina kerap tidak mudah diperoleh dengan menggunakan instrumen ini, sehingga diperlukan instrumen lain untuk penegakan diagnosis.^{5,9}

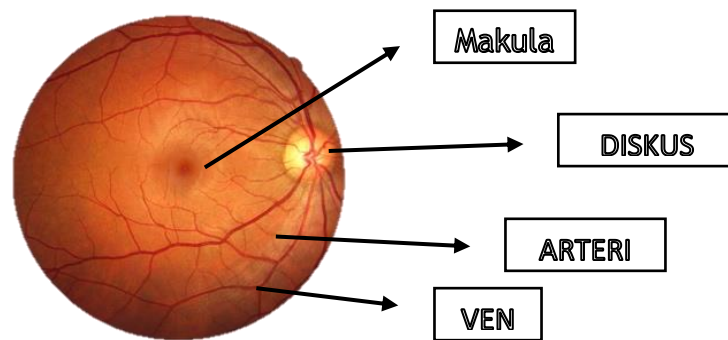
METODE PENGGUNAAN SLIT LAMP BIO-MICROSCOPY^{5,8,9}

1. Posisikan pasien senyaman mungkin pada slit lamp. Minta pasien untuk melihat lurus ke depan namun bukan ke arah sinar (minta pasien untuk melihat telinga kanan pemeriksa dengan mata kiri pasien saat memeriksa mata kanan pasien begitu pula sebaliknya).
2. Posisikan bagian cahaya dan bagian eye piece pada sudut 90%.
3. Intensitas cahaya slit lamp sebisa mungkin digunakan yang minimum dan pembesarannya diatur ke pembesaran 10 x. Cahaya slit di atur sekitar 1.5-2,5 mm

4. Cahaya difokuskan pada pupil pasien dan tempatkan lensa kondensasi sekitar 1 cm dari mata pasien dan segaris dengan cahaya dari slit lamp.
5. Kemudian slit lamp perlahan ditarik kebelakang menuju pemeriksa hingga terlihat gambaran aerial yang fokus antara *lensa kondensasi* dan slit lamp.
6. Cara alternatif adalah dengan menarik tuas slit lamp ke arah pemeriksa lalu secara perlahan maju menuju pasien hingga terbentuk gambaran yang fokus.

F. PEMERIKSAAN SEGMENT POSTERIOR BOLA MATA (FUNDUS)

Pada pemeriksaan funduskopi, segmen posterior bola mata berikut ini yang harus diamati pada setiap kuadran.¹⁰



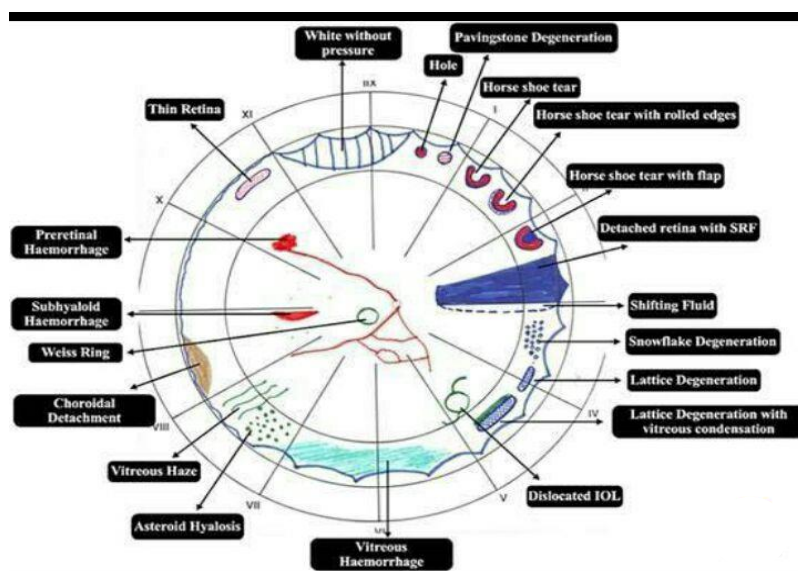
Gambar 55. Segmen posterior pada bola mata.

- a) DISKUS OPTIK (Papil Nervus II) diperiksa batasnya, warna rasio antara cup dan disk, ada tidaknya penggaungan dan kondisi pembuluh darah di sekitarnya.
- b) PEMBULUH DARAH diperiksa perbandingan kaliber antara arteri dan vena, warna, bentuk dan persilangan antara arteri dan vena.
- c) MAKULA yang berlokasi sekitar 2 kali diameter diskus optik di lateral diperiksa warna dan refleksnya.
- d) RETINA PERIFER diperiksa warnanya dan kondisinya seperti apakah ada perdarahan, eksudat, robekan atau ablasio.¹¹

G. FUNDUS DRAWING

Fundus drawing adalah sistem pencatatan universal yang dapat diterima untuk mendokumentasi proses penyakit yang terjadi di retina. *Fundus drawing* berguna sebagai referensi untuk memonitor proses klinis dan juga pada saat operasi. Walaupun saat ini telah ada sistem kamera untuk mendokumentasi fundus, namun mempelajari *fundus drawing* tetaplah penting.⁷

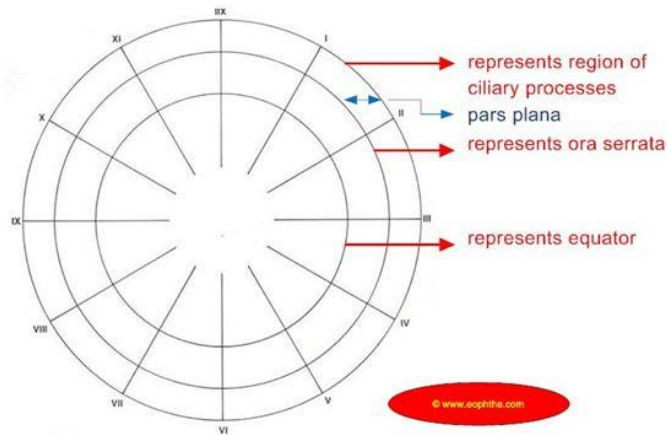
Alat yang dibutuhkan untuk melakukan *fundus drawing* adalah meja pemeriksaan, funduskopi indirek, lensa kondensasi standar (+20D), indentor sklera, pensil warna (terutama merah, biru, hijau kuning, hitam dan coklat), penghapus, rautan, diagram *fundus drawing* dan papan klip kecil. *Fundus drawing* dibuat pada diagram fundus. Secara umum ada 3 lingkaran konsentrik pada peta fundus, lingkaran paling dalam mewakili area posterior hingga ekuator, lingkaran tengah area antara ekuator dan ora serata, serta lingkaran luar dari area anterior ora serata (pars plana dan pars plikata).⁹



Gambar 56. Kode warna pada fundus drawing.

Sangat diperlukan untuk menggambar hasil pengamatan funduskopi pada tempat yang sesuai dengan letaknya di fundus. Misalnya suatu *lattice* antara ora serata dan ekuator, harus digambar di area antara lingkaran dalam dan lingkaran tengah. Papil nervus optik

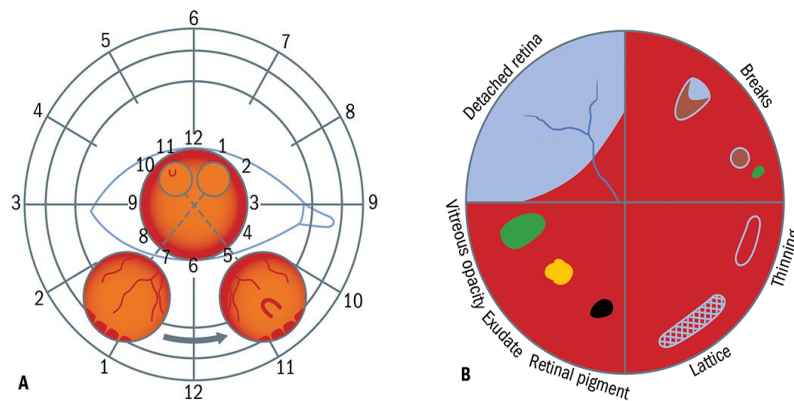
digambar sebagai lingkaran kecil. Garis-garis radial yang diberi angka seperti pada jarum jam dapat membantu untuk menjelaskan lokasi dan luas lesi.¹⁰



Gambar 57. Fundus Chart.

TEKNIK FUNDUS DRAWING¹¹

1. Gambaran yang terlihat dengan funduskop indirek adalah terbalik secara vertikal dan lateral
2. Fenomena ini dapat dikompensasi dengan cara melihat fundus yaitu dengan bagian atas diagram fundus diletakkan ke arah kaki pasien (terbalik atas-bawah). Dengan begitu, posisi diagram terbalik yang dalam hubungannya terhadap mata pasien menjadi sesuai dengan gambaran yang diperoleh oleh pemeriksa.
3. Sebagai contoh, suatu robekan di arah jam 11 pada mata kanan pasien akan berkesesuaian dengan posisi arah jam 11 pada diagram; hal yang sama juga diterapkan pada area *lattice* degenerasi di antara posisi jam 1 dan jam 2.
4. Bila ingin memeriksa bagian superior, minta pasien melihat ke atas (arah jam 12) dan karena gambar yang terbentuk terbalik maka pemeriksa akan melihatnya pada sisi jam 6 di lensa kondensasi.
5. Bila ingin memeriksa bagian lateral minta pasien melirik ke lateral dan seterusnya



Gambar 58. Teknik fundus drawing.

IC's note !

- **Poin penting dalam melakukan fundus drawing:** Bayangan yang terbentuk pada lensa kondensasi saat melakukan oftalmoskopi indirek adalah bayangan yang terbalik dari yang sebenarnya. Hal ini harus diingat oleh pemeriksa yang melakukan penggambaran skema retina sehingga saat melakukan pemeriksaan, Amsler-Dubois chart harus dipasang terbalik dan pemeriksa menggambar sesuai yang terlihat pada lensa kondensasi.

III. PENUTUP

Alat funduskop digunakan untuk mengevaluasi bagian dalam bola mata yang disebut juga retina atau fundus. Ini merupakan satu-satunya prosedur (juga satu-satunya tempat di tubuh) di mana arteri dan vena dapat dilihat langsung bentuk alaminya secara non-invasif (in vivo).

Pemeriksaan fundus sangat bermanfaat secara klinis dikarenakan banyak penyakit dapat didiagnosa berdasarkan bukti yang terlihat di dalam bola mata. Pengamatan terhadap pembuluh darah di dalam fundus dapat memberikan gambaran mengenai keadaan pembuluh darah di organ tubuh yang lain.

Telah tersedia berbagai jenis alat funduskop yang dilaporkan dengan berbagai kelebihan dan kekurangan masing-masing yang dapat saling melengkapi sesuai kebutuhan. Kelebihan yang dimiliki dengan melakukan

funduskopi Indirek dibandingkan dengan funduskopi direk adalah magnifikasi yang lebih besar, field diameter 80D, iluminasi dan kedalaman fokus yang lebih besar, dapat mengevaluasi retina perifer dengan melakukan indentasi sclera, serta adanya stereokopis.

Funduskopi indirek monokuler merupakan instrumen evaluasi retina yang portable dengan memberikan hasil gambaran retina yang nyata tegak, dengan lapangan pandang yang luas dibandingkan dengan funduskopi direk, memiliki beberapa kelebihan yaitu memberikan gambaran keadaan retina yang lebih baik, lapang pandangan pengamatan retina yang lebih luas. Kelemahan yang dimiliki funduskop ini adalah iluminasi dan magnifikasi yang terbatas, dengan resolusi yang kurang baik, serta tidak adanya stereopsis.

Funduskop indirek binokuler memberikan keleluasaan pada pemeriksa untuk mendeteksi perubahan dari kontur retina, baik adanya elevasi atau ekskavasi, Merupakan instrumen yang portable, dengan posisi pasien dapat dalam keadaan duduk ataupun berbaring. Funduskop ini memberikan hasil yang lebih baik dengan adanya stereopsis dan lapang pandangan obeservasi retina yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

1. Hilton GF McLean EB, Brinton DA Retinal Detachment: Principles and Practice 2nd Ed. American Academy of Ophthalmology. San Fransisco. 1995:46-7:67-213
2. Albert DM, Jakobiec FA. Principles and Practice of Ophthalmology: Clinical Practice. Vol 2. WB Saunders Co. Philadelphia; 1994:687-91
3. Gordon DM. The Fundamentals of Ophthalmoscopy. Upjohn Company: Kalamazoo, Michigan: 26-8
4. Fingeret M, Casser L, Woodcome HT. Atlas of Primary Eyecare Procedure. Appleton & Lange. Norwalk, Connecticut. 1990: 190-9
5. Peyman GA, Schulman JA. Intravitreal Surgery : Principles and Practice. 2nd Ed. Prentice Hall International Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1994: 119-21
6. Lim ASM, Ang BC, Fleck BW. Fison's Retinal Detachment Surgery. 2nd Ed. PG Publishing Boston. 1989: 4-10
7. Scheie HG, Albert DM. Textbook of Ophthalmology 9th Ed. WB Saunders Co. Philadelphia. 1990 : 177-80
8. Guyer DR, Yannuzzi LA, Chang S, Shields JA, Green WR. Retina-Vitreous-Macula. Vol 1. WB Saunders Co. Philadelphia, Pennsylvania. 1999 : 22-8
9. Boyd BF, Boyd S. Retinal and Vitreoretinal Surgery. Highlights of Ophthalmology Int'l. Eldorado, Panama, 2002:7-8
10. The University of Arizona Department of Ophthalmology and vision science. Fundamental of Ophthalmoscopy for Medical Students. Arizona 2008: 1-2
11. August Colenbrander. Principles of Ophthalmoscopy. Chapter 63. Philadelphia. 1999. 35-68

CHAPTER III

PEMERIKSAAN PENUNJANG RETINA



DYAH AYU WINDY, IDAYANI PANGGALO,
SURYANITA TAJUDDIN, BUDU,
HABIBAH SETYAWATI MUHIDDIN,
ANDI MUHAMMAD ICHSAN

CHAPTER III

PEMERIKSAAN PENUNJANG PADA RETINA

I. ULTRASONOGRAFI OKULER

M. Irfan Kamaruddin, Habibah S. Muhiddin, A.M. Ichsan

Kemunculan ultrasonografi (USG) sebagai alat diagnostik telah berkembang sejak pertama kali digunakan dalam bidang oftalmologi yang diperkenalkan pertama kali oleh Mundt dan Hughes pada tahun 1956 dengan menggunakan teknik dua dimensi pada kasus-kasus tumor intaokular. Oksala *et al* (1960) melaporkan gelombang suara dalam berbagai jenis komponen di dalam mata. Baum dan Greenwood, tahun 1950-an menciptakan scan dua dimensi (*B scan*), menggunakan metode imersi yang kemudian dikembangkan oleh Purnell dan Coleman. *B scan* kontak diperkenalkan oleh Bronson pada tahun 1970-an dan telah menjadi alat yang digunakan sehari-hari pada bidang oftalmologi.^{1,2,3}

A scan kemudian dikembangkan oleh Ossoining tahun 1960-an. Ia kemudian mengkombinasikan *A scan* dengan *B scan*, yang saat ini telah menjadi standarisasi echografi, modalitas diagnostik dengan deteksi yang akurat dan dapat membedakan kelainan oculo-orbita. Belakangan ini, *colour doppler ultrasound* merupakan modalitas yang menjadi standarisasi echografi terkini.^{1,2} Kegunaan ultrasonografi antara lain adalah sebagai berikut :

- Biometri (*A scan*) untuk mengukur panjang aksial bola mata dan ketebalan kornea.
- *A scan* standar (diagnostik) untuk menilai echo-struktur. Alat diagnostik ini merupakan bagian dari *B scan* pada sebagian besar alat terkini yang memiliki fasilitas vektor.

- *B scan* diagnostik (dua dimensi), dimana selalu dikombinasikan dengan *A scan* standar untuk mencapai diagnosis yang lebih jelas.
- *Doppler ultrasonography*, digunakan dalam kasus-kasus dengan lesi vaskuler.

Selama pemeriksaan, sebaiknya diperhatikan hal-hal terkait lesi yang terdeteksi oleh *A scan* dan *B scan*. Pada *A scan* standar, perlu diperhatikan kuantitas echografi untuk mengetahui refleksifitas, atenuasi suara, dan struktur lesi. Hal ini membantu untuk menilai tekstur lesi. Pada *B scan*, perlu diperhatikan topografi dari bentuk, tepi, lokasi dan perluasan lesi. Disamping itu, kinetik echografi pada *B scan* dapat memberikan informasi mengenai mobilitas, keadaan setelah pergerakan dan keadaan pembuluh darah (manuver valsalva). *Doppler ultrasound* juga menyediakan informasi mengenai aliran darah.^{1,4}

Dalam melakukan evaluasi kornea, bilik mata depan, iris, bilik mata belakang dan lensa jarang diperlukan pemeriksaan USG, disebabkan bagian-bagian tersebut dapat dievaluasi dengan cara inspeksi, pemeriksaan-pemeriksaan klinis mata, pemeriksaan menggunakan slit-lamp, dan biomikroskopis *ultrasound* yang menggunakan frekuensi 50 MHz. Namun demikian, terdapat beberapa kondisi dimana terjadi kekeruhan pada media refrakta yang dapat mengganggu visualisasi dalam menilai segmen posterior bola mata, dalam hal inilah diperlukan USG dalam mengevaluasi retina, vitreus, choroidal detachment, tumor-tumor, dan keadaan patologis lainnya di segmen posterior.^{1,3,4,5,6}

Ultrasound juga menyediakan informasi tambahan mengenai penyakit yang telah dideteksi dari pemeriksaan oftalmik sebelumnya. *Ultrasound* merupakan metode yang sangat cepat, sederhana dan non-invasif dalam menggambarkan struktur posterior bola mata. Alat ini dapat menghasilkan gambar yang dinamis dengan resolusi tinggi.^{5,6}

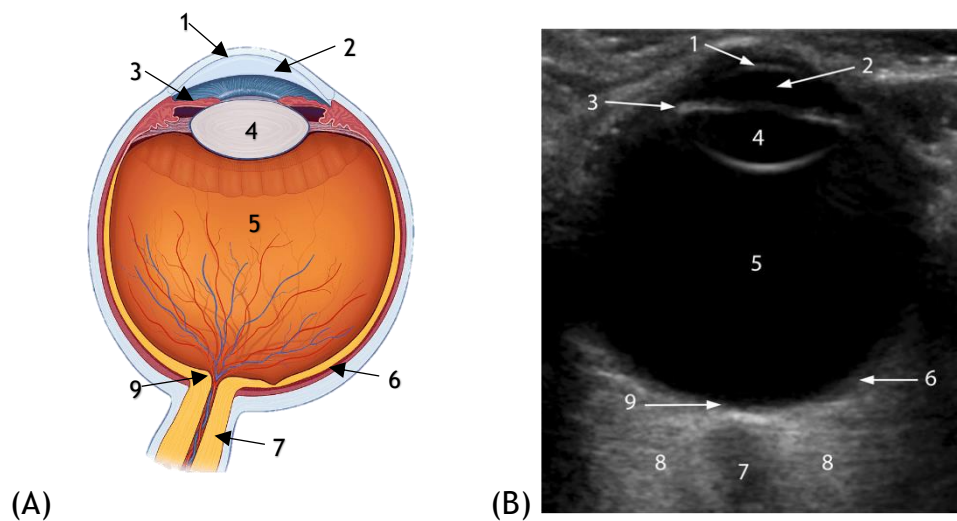
ANATOMI BOLA MATA

Bola mata merupakan organ penglihatan manusia. Bola mata menempati bagian depan orbit. Dinding bola mata terdiri dari tiga lapisan: retina, atau lapisan dalam sensorineural; uvea, terletak dari anterior hingga posterior, terdiri dari iris, korpus siliaris, dan koroid; kornea dan sklera, yang membentuk lapisan luar dan juga sebagai pelindung/penyokong. Humor akous terdapat pada bilik mata depan (BMD) diantara kornea dan lensa, dan meluas hingga ke posterior diantara iris dan lensa. Lensa disokong dengan korpus siliaris dan vitreus pada bagian posterior lensa.

Mata terdiri atas dua segmen: segmen pertama yakni segmen anterior terdiri dari kornea, bilik mata depan, humor akuos, lensa, bilik mata belakang, iris, dan korpus siliaris; bagian posterior terdiri dari vitreus, retina, koroid, sklera dan nervus optik. (Gambar 64)^{5,7,8}

Vaskularisasi orbit terutama disuplai oleh arteri oftalmika (cabang arteri karotis interna) dan arteri infraorbitalis (cabang dari arteri karotis eksterna). Arteri oftalmika memiliki banyak cabang yang mensuplai daerah tertentu. Arteri yang mensuplai retina adalah arteri retina sentralis. Arteri ini berjalan di bawah nervus optikus dan masuk ke bola mata melalui papil optik. Arteri ini mensuplai 2/3 lapisan dalam retina, sedangkan 1/3 lapisan luar retina disuplai oleh arteri koriokapilaris. Lapisan koroid mendapat suplai pendarahan dari arteri siliaris posterior brevis secara langsung dan arteri siliaris posterior longus secara tidak langsung.

Arteri siliaris posterior longus juga beranastomosis dengan arteri siliaris anterior untuk mensuplai badan siliaris. Vena utama pada orbit adalah vena infraorbital dan vena oftalmika inferior dan superior. Vena oftalmika superior dan inferior bergabung menjadi vena retina sentralis. Vena ini masuk ke fissura orbitalis superior untuk bergabung dengan sinus kavernosus. Lapisan vaskularis terutama memiliki vena vorteks. ^{5,7}

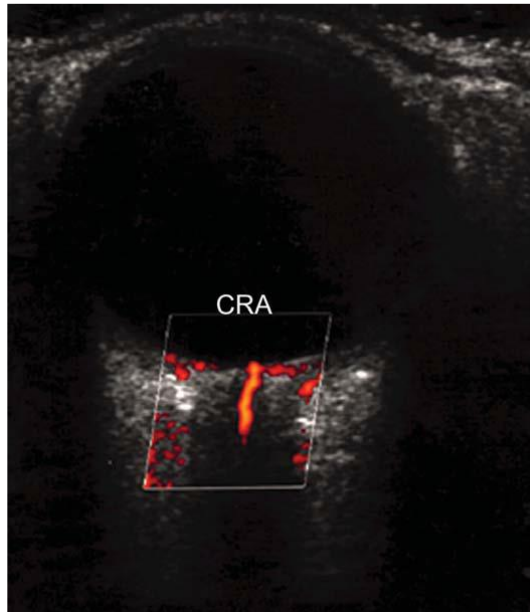


Gambar 59. an bola mata pada pemeriksaan USG.

A: Ilustrasi diagram anatomi bola mata; B : Tampilan struktur bola mata normal dalam sonografi. Segmen anterior terdiri dari kornea (1), anterior chamber (AC), iris (2), corpus siliaris (3), lensa, dan posterior chamber (PC). AC dan PC terisi dengan humor akuus. Lensa di bagian lateral melekat pada corpus siliaris. Segmen posterior terdiri dari: vitreous chamber (4) dan dinding posterior mata (5), yang dibentuk oleh retina, koroid, dan sclera (posterior RCS kompleks). Vitreous chamber berisi humor vitreous, dan di bagian periferinya disebut dengan kapsul vitreous atau hyaloid. Retina dibatasi, pada bagian anterior oleh ora serrata (*curved arrow*) dan di bagian posterior pada optic disc (6). Koroid pada bagian anterior berbatasan dengan scleral spurs dekat korpus siliaris ciliary dan di bagian posterior berdekatan dengan exit foramina di vena vortex. Di belakang bola mata, terdapat nervus optik (ON). ON berupa struktur *hypoechoic* yang diliputi oleh lemak retrobulbar echogenic (8). Area yang sirkuler dimana ON melekat ke retina disebut dengan *optic disc* atau papil (9).⁵

Struktur dari bola mata dapat dengan mudah diidentifikasi dengan menggunakan ultrasonografi. Struktur terdepan yakni kornea, terlihat sebagai garis tipis yang kadang-kadang tidak teridentifikasi. Segmen anterior terdiri dari dua area *anechoic*: pertama bilik mata depan (antara kornea dan lensa) dan lensa, dengan struktur tipis *anechoic* kapsul anterior dan posterior. Korpus siliaris terlihat sebagai struktur *hypoechoic* pada sisi samping lensa. Vitreus juga yang terletak pada posterior lensa terlihat sebagai struktur *anechoic*. Lapisan belakang (lapisan ketiga) muncul sebagai garis echogenik yang berbentuk konkav, yang di pisahkan dengan adanya *optic disc*. Di belakang bola mata, yakni lemak retro-okular terlihat *hyperechoic* dan otot-otot penggerak bola mata terlihat *hypoechoic* (Gambar 64B). Arteri retina sentralis, yang memperdarahi retina, dapat terlihat baik dengan menggunakan *USG colour Doppler* yang

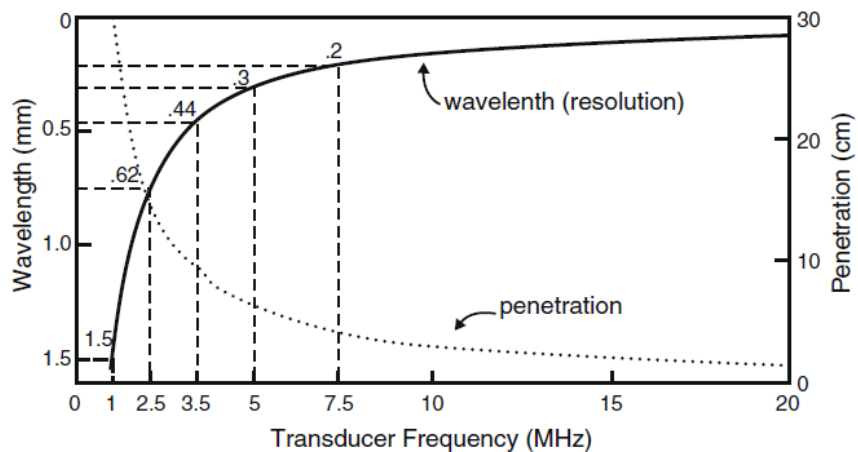
juga dapat memperlihatkan lapisan retina dan vena retina sentralis (Gambar 65).⁷



Gambar 60. Aksial colour Doppler sonogram menunjukkan normal arteri retina sentralis (CRA).

A. PRINSIP ULTRASONOGRAFI

Ultrasonografi menggunakan gelombang suara dengan osilasi partikel yang medium. Gelombang USG mempunyai frekuensi lebih dari 20 KHz (> 20.000 osilasi/detik), yang tidak dapat didengar oleh manusia. USG okuler menggunakan frekuensi antara 8 MHz sampai 50 MHz (saat ini frekuensi yang lebih tinggi masih dalam pengembangan). Frekuensi yang lebih tinggi menghasilkan resolusi yang tinggi pula, namun jangkauan penetrasi jaringan lebih pendek dan frekuensi panjang gelombang tidak dapat menembus jaringan, namun hal sebaliknya terjadi pada frekuensi yang memiliki panjang gelombang yang rendah (Gambar 66). *B scan* probe standar pada mata menggunakan 10 MHz, dengan daya penetrasi sekitar 40 mm. USG probe dengan resolusi tinggi umumnya menggunakan 20 MHz dengan daya penetrasi 10 mm. USG biomikroskopi umumnya menggunakan 50 MHz atau lebih, namun daya penetrasi hanya 7mm.^{1,2,4,5,9-11}



Gambar 61. Perbandingan resolusi dengan penetrasi pada frekuensi transduser ultrasound yang berbeda.¹³

A scan merupakan alat untuk menampilkan gambar satu dimensi, dimana echo digambarkan sebagai spike yang berasal dari baseline. Gelombang suara dari probe yang paralel melalui mata membentuk A scan. Semakin tinggi perbedaan kepadatan pada permukaan yang dilalui, maka semakin tinggi spike yang ditimbulkan (Tabel 5), hal ini disebut dengan *Amplitudo scan* atau “A scan”. Pada B scan, osilasi A scan penting dalam menggambarkan keadaan dimana gelombang suara melintasi suatu jaringan. Echo pada B scan ditunjukkan dengan kumpulan titik-titik. Penyatuan titik-titik dan kecerahannya akan menghasilkan bentuk lesi berupa kumpulan titik (*point*), membran ataupun bayangan massa. Terdapatnya perbedaan dari permukaan yang dilalui gelombang atau echo yang tinggi akan menghasilkan titik-titik yang semakin terang juga, disebut dengan *Brightness scan* yang disingkat sebagai “B scan”.^{1,2,12}

Tabel 5. Persentasi kategori spike.¹

Category	Spike height, %
EXTREMELY LOW	0-5
LOW	5-40
MEDIUM	40-60
MEDIUM-HIGH	60-80
HIGH	80-100

Gelombang suara mempunyai sifat seperti gelombang cahaya, juga memiliki prinsip yang sama dari segi refraksi dan refleksinya. Seperti gelombang cahaya, suara longitudinal dipantulkan ke sumbernya setelah melalui permukaan jaringan. Pantulan ini disebut dengan echo. Juga sama dari segi indeks refraksi, impedansi suara antara dua media mempengaruhi echo yang ditimbulkan. Semakin besar perbedaan impedansi suara dari dua media, akan semakin kuat refleksifitas suara yang ditimbulkan. Impedansi suara ditentukan oleh kecepatan dan kepadatan/massa jenis (Tabel 6). Sebagai contoh, perbedaan permukaan lensa anterior dan akuos sangat berbeda dibandingkan perbedaan antara hipopion dan lensa, sehingga echo yang ditimbulkan akibat adanya hipopion lebih pendek. Faktor lain yang mempengaruhi formasi echo yang diserap dan dipantulkan, yakni sudut insiden suara, ukuran, dan tekstur permukaan.²

Tabel 6. Perbandingan kecepatan rambat gelombang suara.

Velocity (m/s)	Medium
1480	<i>Fresh water</i>
1532	<i>Aqueous and vitreous</i>
1640	<i>Clear lens</i>
1550	<i>Solid tissues</i>

Sudut dimana berkas/sinar suara mengenai permukaan mempengaruhi kekuatan dan formasi echo. Insidensi sudut sama dengan sudut yang dipantulkan, oleh karena itu ketika beam mengenai permukaan secara perpendicular, echo dipantulkan secara langsung kembali ke daerah asal (*probe*). Gelombang suara berjalan oblik akan menghasilkan pantulan gelombang suara yang terbalik (*diverted*) dari asalnya, yang juga akan menghasilkan echo yang lemah. Ketika melakukan pemeriksaan, struktur yang lebih terang selalu perpendikuler dari beam suara.²

Ukuran, bentuk, dan tekstur dari permukaan juga ditentukan dari karakter echo yang dihasilkan. Permukaan yang rata, jika gelombang suara berjalan perpendikuler, akan dipantulkan kembali dekat dengan gelombang ke daerah asal. Contoh pada retina mata, permukaan rata yang

berbentuk konveks akan memantulkan gelombang suara jauh dari sumbernya, echo yang dihasilkan lemah. Pada kasus tumor intraokuler dengan permukaan yang ireguler akan menghasilkan echo yang tersebar, yang mengartikan echo yang dipantulkan kembali lebih lemah, walaupun gelombang suara asal perpendikuler. Permukaan yang sangat kecil juga akan menghasilkan *scatter* atau biasan. Oleh karena itu, echo dari permukaan yang kecil dan ireguler kurang berpengaruh pada arah gelombang suara dibandingkan dari permukaan yang luas dan reguler, jadi dengan arah perpendikuler hasilnya menjadi kurang berarti.^{2,4,9,11,12}

Bentuk kristal yang terdapat pada *probing* juga menentukan karakter dari berkas suara. Kristal planar menghasilkan berkas suara yang paralel dimana kristal konkav dapat menghasilkan *sound beam* yang jelas. Jarak fokal berhubungan dengan area dimana berkas suara lebih sempit dan area ini memiliki resolusi yang baik. Berkas sinar yang fokus meningkatkan resolusi lateral dan aksial ultrasonografi. Resolusi di lateral menunjukkan pemisahan minimal antara dua echo untuk mengarahkan gelombang suara.²

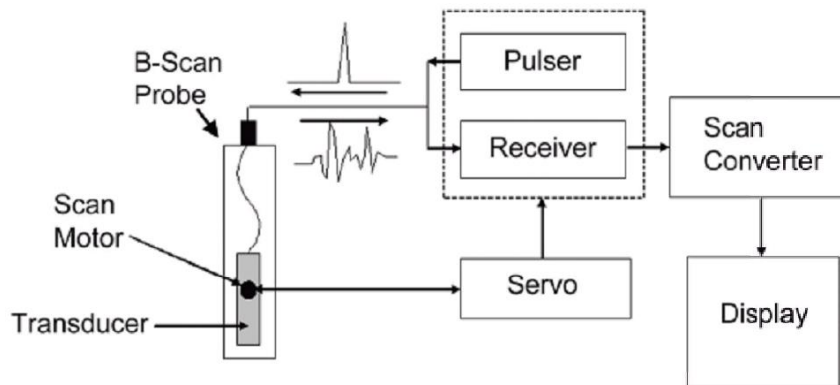
Echo yang dipantulkan menghasilkan signal listrik yang akan diterima oleh ultrasonografi sebagai signal frekuensi radio yang lemah. Signal ini dihasilkan melalui proses amplifikasi, kompensasi, demodulasi, dan rejeksi. Amplifikasi merupakan hal terpenting dalam ultrasonografi okuler. Terdapat tiga tipe amplifikasi yang digunakan, yakni amplifikasi berbentuk linier, logaritma dan amplifikasi berbentuk-S. Tipe amplifikasi mempengaruhi jarak intensitas echo yang dapat diperlihatkan pada sistem, disebut dengan jarak dinamis dan dinyatakan dengan satuan desibel (dB). Amplifikasi linier memiliki jarak dinamis yang kecil, sehingga dapat menghasilkan perbedaan kekuatan yang kecil dengan sumber echo, namun jarak intensitas echo sangat terbatas. Amplifikasi logaritma menghasilkan jarak intensitas yang lebar, namun tidak dapat dibedakan dari signal echo. Kurva bentuk S digunakan untuk mengkombinasikan jarak logaritma yang lebar dengan sensitivitas yang lebih besar pada amplifikasi linier. Kurva ini digunakan dalam *A scan* diagnostik.²

Gain merupakan faktor terpenting lainnya dalam tampilan ultrasonografi. *Gain* penting dalam meningkatkan volume atau meningkatkan amplifikasi tampilan signal. *Gain* juga diukur dalam satuan desibel (dB) yang merupakan unit relatif pada intensitas ultrasonografi. Pengaturan *gain* tidak mengubah energi yang berasal dari transduser, namun hanya merubah intensitas dari echo yang kembali atau dipantulkan pada tampilan layar. Pembesaran *gain* dapat meningkatkan sensitivitas pada layar dan menghasilkan tampilan dengan signal yang lemah dengan resolusi tampilan yang kurang. Peningkatan *gain* dapat dilakukan pada hasil signal yang lemah seperti kekeruhan vitreus. Pada *gain* yang rendah, sensitivitas berkurang, tapi resolusi bertambah di area aksial dan lateral. Kekeruhan vitreus yang minimal dapat tidak terlihat, tapi echo yang lebih kuat (retina, sklera, massa) akan menetap. Penurunan *gain* efektif untuk menyempitkan berkas suara, karena echo yang kuat berada di sentral axis pada gelombang suara yang dipantulkan. Ketika echo dari jaringan yang terletak jauh/dalam tidak dapat diperbesar untuk ditampilkan maka dengan mengurangi *gain* efektif untuk menurunkan kedalaman penetrasi. Banyak instrumen memiliki kompensasi echo secara otomatis yang akan meningkatkan tampilan echo yang lemah dari jaringan yang lebih dalam. Hal ini yang memungkinkan amplifikasi yang lebih besar jika jaringan tersebut letaknya lebih jauh. ²

B. KOMPONEN ULTRASONOGRAFI

Komponen USG terdiri dari¹⁴:

1. *Transducer* / Probe
2. *Servo* (untuk sistem mode B)
3. *Pulser*
4. *Receiver* /Penerima
5. *Display* / Tampilan



Gambar 62. Komponen Elektronik USG B scan. ¹⁵

Pada gambar 67, dapat terlihat komponen elektronik USG yang terdiri dari probe (berisi transduser dan mekanisme pemindaian mekanik, pulser / receiver (yang membangkitkan transduser dan menguatkan gema), servo (yang mengontrol dan memantau orientasi transduser), converter scan (digital format yang menguatkan data untuk ditampilkan), dan perangkat display.¹⁴

Pada proses pemeriksaan, USG okuler dijalankan dengan mengirimkan pecahan-pecahan mikrodetik (μ s) gelombang suara frekuensi tinggi dari suatu transduser ke dalam bola mata dan orbita. Pulsasi aliran listrik singkat mengaktifasi suatu kristal *piezoelektrik* didalam transduser USG sehingga menimbulkan gelombang suara teremisi. Gelombang suara kemudian memasuki bola mata dan orbita sebagian direfleksikan dari struktur okuler dan orbita dan kembali ke transduser yang sama yang menghasilkannya. Gelombang suara yang kembali menyebabkan getaran mikro lalu dikirim ke receiver/penerima. Potensial-potensial kecil ini lalu diamplifikasi dan diproses sebagai tampilan pada sebuah ossiloskop maupun layar monitor.¹⁴

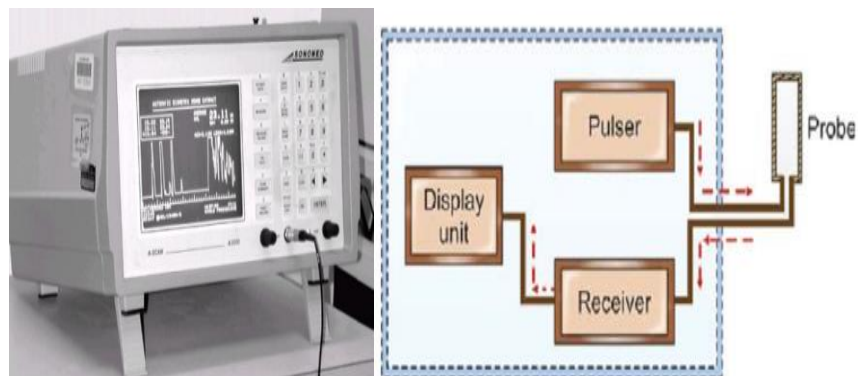
C. INSTRUMEN ULTRASONOGRAFI

1) USG A-scan

A scan merupakan alat dengan tampilan satu dimensi dimana echo yang ditampilkan akan tampak sebagai gelombang/spike

vertikal dari garis dasar/baseline. Jarak antara gelombang tergantung dari durasi waktu saat signal suara mencapai permukaan dan echo yang dipantulkan kembali ke transduser. Waktu diantara gelombang dapat dikonversikan ke dalam jarak dengan mengetahui kecepatan suara dari media yang dilalui oleh echo, yang mana dapat diformulasikan sebagai: jarak = kecepatan x waktu. Tinggi gelombang merupakan indikasi kekuatan atau amplitude dari echo.²

Terdapat berbagai tipe *A scan* dalam bidang oftalmologi. *A scan* yang digunakan dalam mengukur panjang aksial bola mata dikenal sebagai biometri, alat tersebut menggunakan amplifikasi linier, fokus transduser dan memiliki frekuensi antara 10 dan 15 MHz. Vektor *A scan* digunakan secara simultan bersama *B scan* echogram yang memiliki karakter yang sama dengan *B scan*, umumnya menggunakan amplifikasi logaritma, fokus transduser, dan dengan frekuensi 10 MHz.



Gambar 63. Alat dan komponen dasar USG A-Scan.

A scan standar dikembangkan oleh *Ossoinig* untuk memperlihatkan perbedaan jaringan. *A scan* standar menggunakan amplifikasi bentuk S, menggunakan transduser non-fokus 8MHz, dan signal suara yang berjalan paralel. Setiap probe mengkombinasi secara eksternal dengan menggunakan model jaringan yang ditentukan dengan satuan desibel. Penilaian ini menunjukkan sensitifitas jaringan dan berbeda pada setiap probe. *A scan* standar

tergantung dari level desibel yang digunakan. Hasil tampilan kemudian dinilai untuk membuat suatu diagnosis. *A scan* standar telah banyak digunakan oleh ahli oftalmologi, pengalaman dalam menggunakannya dapat menghasilkan diagnosis definitif dalam kasus tumor dan tipe eksudat berdasarkan pada pola yang ditampilkan. *A scan* diagnostik biasanya digunakan untuk mendiagnosis tumor koroid, yang umumnya ditemukan pada manusia.²

2) USG B-Scan

Probe *B scan* memancarkan berkas suara berisolasi yang melalui jaringan, menghasilkan 2 dimensi bagian suara. Umumnya *B scan* di bidang oftalmologi menggunakan amplifikasi logaritma dan fokus probe, berkas suara (sinar) yang sempit menghasilkan gambaran sektor. Umumnya *B scan* dalam setiap potongannya meliputi hasil tampilan berkisar 180°. Kebanyakan probe *B scan* memiliki frekuensi 10 MHz. Setiap echo dipresentasikan dengan titik-titik dan kecerahan dari titik dihasilkan dari kekuatan echo. *B scan* merupakan kombinasi multipel *A scan*. Probe memiliki penanda yang menunjukkan arah potongan, yang sesuai dengan bagian atas echogram.²

Sudut dalam pemeriksaan, kecepatan osilasi transduser dan *grey scale* mempengaruhi hasil gambar *B scan*. Sudut dari transduser mempengaruhi area mana dari mata yang dapat dievaluasi dalam waktu tertentu. Tingkatan osilasi transduser juga mempengaruhi hasil *B scan*. Agar mendapatkan gambar yang sesuai, *B scan* harus menghasilkan 10-60 potongan atau gambaran per detik dalam melewati jaringan. Terakhir, *grey scale* merupakan instrumen yang dapat mendeteksi peran penting dalam proses pengambilan gambar. Semakin besar jarak *grey scale* yang dideteksi, semakin besar pula kemampuan untuk membedakan intensitas echo.²



Gambar 64. Alat USG A/B scan.

D. INDIKASI PEMERIKSAAN ULTRASONOGRAFI

1) A scan

USG *A scan* diindikasikan untuk mengevaluasi segmen posterior pada keadaan kekeruhan menyeluruh ataupun sebagian dari segmen anterior atau posterior. USG *A scan* dapat juga digunakan untuk melihat posisi, mengukur tumor dan mengevaluasi pertumbuhannya, juga untuk mendeteksi benda asing intraokuler dan memperhitungkan luas dari kerusakan intraokular pada kasus trauma.¹⁶ Biometri merupakan indikasi penting lainnya dari *A scan*, untuk pengukuran panjang bola mata yang tepat yang diperlukan pada kalkulasi kekuatan lensa intraokuler.¹⁶

2) USG *B scan*

USG *B scan* dapat digunakan sebagai pemeriksaan lanjut pada beberapa kondisi, antara lain perdarahan intraokuler spontan, dislokasi lensa, penderita yang diduga mengalami peningkatan tekanan intra kranial dan pra-pembedahan okuler.^{16,17}

Media okuler keruh

- Segmen Anterior : kekeruhan kornea, hifema, katarak, miosis.
- Segmen Posterior : perdarahan vitreus, evaluasi retina koroid.

Media okuler jernih

- Segmen Anterior : Lesi di iris, lesi di korpus siliaris.
- Segmen Posterior : Evaluasi tumor dan massa, deteksi dan diferensiasi ablasio retina (regmatogen / eksudat), deteksi dan diferensiasi benda asing intra okuler.

Tabel 7. Penggunaan USG okuler dan kondisi yang menghalangi visualisasi ke segmen posterior secara langsung.⁹

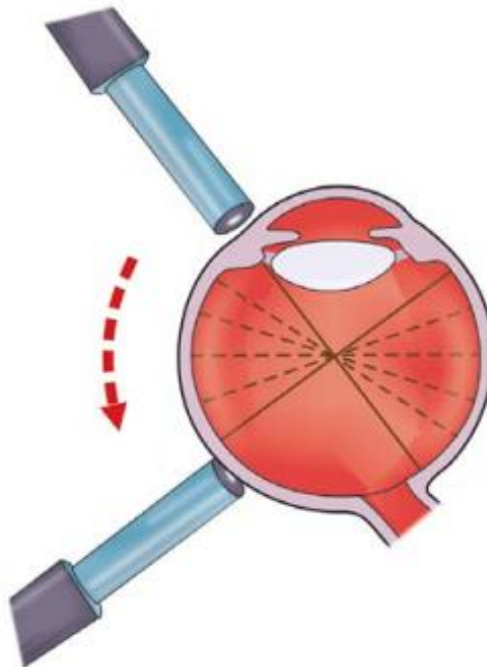
	Example condition
Opacity obscuring visualization of posterior eye as in:	Dense cataract
	Vitreous hemorrhage
	Corneal opacity
	Hyphae
	Hypopion
	Retinoblastoma
Ultrasound visualized pathology	Choroidal lesion : melanoma, metastases, hemangioma
	Macular lesions : osteoma (calcification)
	Retinal detachment
	Lens rupture or dislocation
	Posterior scleritis
	Choroiditis: visualize chorioretinl layer thickness
	Optic disc cupping

E. TEKNIK PEMERIKSAAN USG

1) USG A scan

Pemeriksaan ini digunakan untuk mendeteksi lesi intra okuler. Pemeriksaan dilakukan dengan posisi pasien berbaring atau duduk, setelah diberikan anastesi topikal yang diteteskan pada kedua mata. Pemeriksa duduk dengan peralatan pemeriksaan yang disediakan di satu sisi dari pasien.^{16,18} Probe *ultrasound* pertama kali digunakan pada arah jam 6 dari limbus melalui bagian tengah

bola mata bertujuan untuk memeriksa lapisan chorioretinal dengan arah yang berlawanan pada meridian jam 12. Pasien diinstruksikan untuk melihat jauh dari probe terhadap meridian yang diperiksa untuk menghindari scan melalui lensa. Probe digeser dari limbus ke fornix lalu mengarah ke tengah bola mata, juga skrining meridian utama dari kutub posterior ke ora serata. Sorotan *ultrasound* selalu dipertahankan perpendicular ke retina yang berlawanan. Prosedur yang sama diulangi di meridian jam 8, menggeser probe secara berurutan di sekitar bola mata.^{14,16,19}



Gambar 65. Posisi probe dengan ilustrasi gerakan yang rotasional (pada 8 meridian).



Gambar 66. Pemeriksaan A scan dengan posisi probe limbus arah jam 6, fornix, dan perpendicular terhadap retina yang bersebrangan.²⁰

Walaupun terbatas untuk mengevaluasi segmen anterior, *A scan* dapat dilakukan dengan menggunakan teknik imersi sederhana. Probe yang berisi *methylselulosa*/cairan imersi disentuh ke sklera, sehingga dapat diperoleh bayangan kornea, BMD, iris, lensa dan ukuran panjang aksial bola mata.^{14,18}

2) USG *B scan*

- a. Pada saat melakukan pemeriksaan, pasien berada dalam posisi duduk atau baring terlentang.
- b. Sebaiknya memulai pemeriksaan dengan mengatur pada USG *B scan* menggunakan *gain* maksimal (80 dB).
- c. Beri anestesi topikal jika probe dari USG ingin diletakkan di sklera atau jika probe diletakkan di palpebra (mata dalam keadaan tertutup) maka tidak diperlukan anestesi topikal.
- d. Probe dari USG diletakkan berlawanan dari bagian mata yang akan diperiksa. Penanda pada probe bertindak sebagai titik arah dan mewakili bagian atas dari echogram. Untuk mengevaluasi bagian superior dan inferior dari fundus, penanda diletakkan mengarah ke hidung (melintang horizontal), dan untuk mengevaluasi fundus bagian nasal dan temporal, penanda diarahkan pada meridian pukul 12.
- e. Detail terbaik dari patologi terdapat di bagian tengah dari echogram tersebut. Jika detail patologi tidak ditemukan pada salah satu dari meridian utama (arah pukul 3,6,9 dan 12), posisi oblik dapat dilakukan.
- f. Untuk memeriksa mata secara utuh, pertama letakkan permukaan probe di limbus dan kemudian bergerak lambat ke forniks. Cara ini dapat mengevaluasi mulai dari polus posterior ke perifer dari tiap kuadran.
- g. Setelah pemeriksaan secara *cross sectional* selesai, pada bagian yang diinginkan dapat diperiksa secara longitudinal. Scan longitudinal memungkinkan evaluasi meridian dari polus posterior

sampai perifer dengan cara mengarahkan marker pada limbus kornea berlawanan dengan area yang akan diperiksa.

- h. Scan dengan posisi aksial lebih menyenangkan dimana gambar yang dihasilkan umumnya lebih mudah dimengerti. Namun penempatan probe secara langsung pada kornea berisiko meningkatkan abrasi kornea.¹⁸



Gambar 67. Posisi probe pada pemeriksaan B scan.⁵

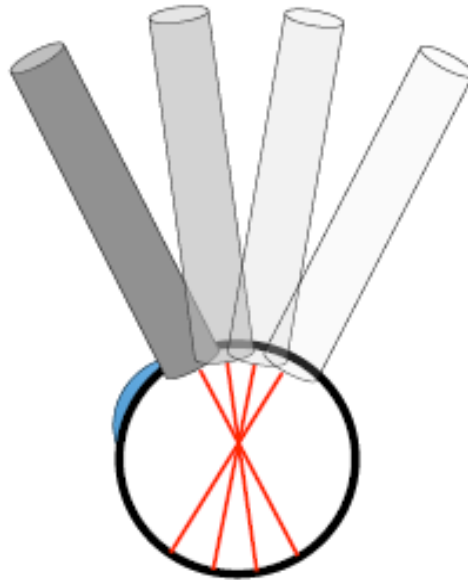
USG sebaiknya dilakukan dengan mata dalam keadaan terbuka dan probe langsung menyentuh bola mata, karena pada saat mata tertutup sebagian echo akan diserap oleh palpebra & pemeriksa tidak dapat mengetahui sisi sebelah mana yang sedang dievaluasi. Bagian mata yang sedang dievaluasi yang tampak pada monitor bergantung pada posisi probe dan marker.^{14,19,21}

Posisi Probe

Gambaran *B scan* dapat diperoleh dari tiga posisi probe, yakni aksial, transversal, dan longitudinal. Selama prosedur pemeriksaan probe digerakkan dari limbus ke forniks pada arah jarum jam dengan meridian berbeda dan gambar yang dihasilkan berkebalikan pada meridian diagonal (Tabel 4):^{1,21-23}

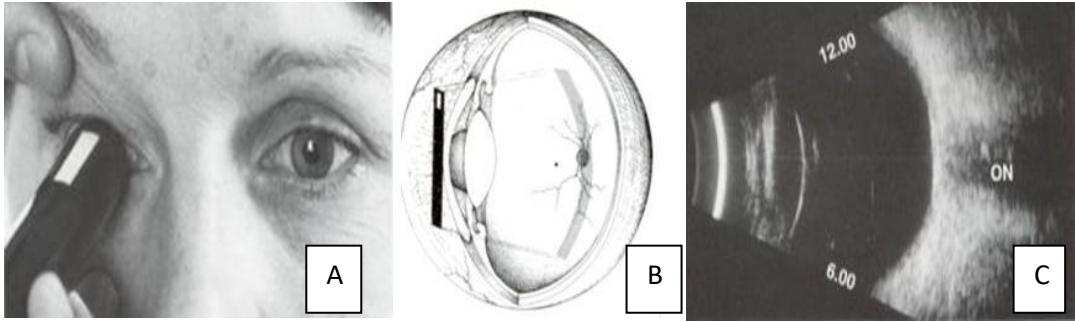
Tabel 8. Perbandingan posisi probe dengan daerah yang dievaluasi. ¹

<i>Clock hour probe position</i>	<i>Clock area are screened</i>
<i>3- limbus</i>	<i>9-posterior</i>
<i>3 - equator</i>	<i>9-equator</i>
<i>3 - fornix</i>	<i>9-anterior</i>
<i>6- limbus</i>	<i>12-posterior</i>
<i>6 - equator</i>	<i>12-equator</i>
<i>6 - fornix</i>	<i>12-anterior</i>



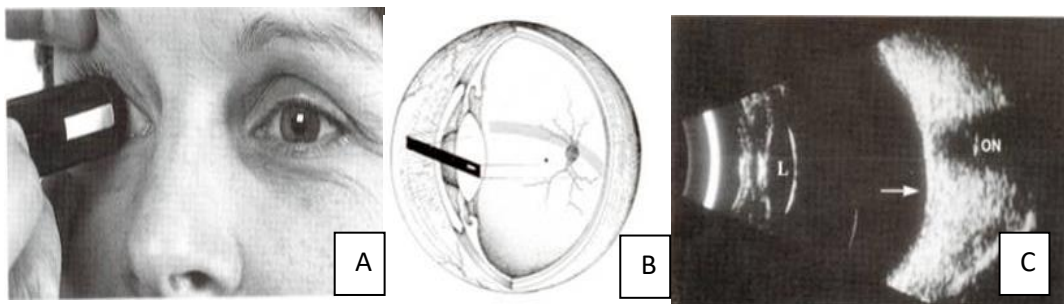
Gambar 68. Pergerakan probe dari limbus ke forniks. ⁶

Potongan aksial: pasien diinstruksikan dalam posisi primer dan probe diletakkan di bola mata dan secara aksial/ di sentral kornea. Walaupun gambar yang dihasilkan memiliki resolusi yang rendah akibat kekeruhan/kepadatan media dari lensa, potongan aksial sangat penting untuk menentukan lokasi lesi di bagian posterior dan menentukan apakah letak lesi berdekatan dengan penanda anatomik seperti nervus optik dan makula. Aksial scan dapat dilakukan secara horizontal, vertikal maupun oblik. ^{11,12}



Gambar 69. B scan pada mata kanan potongan aksial vertical.

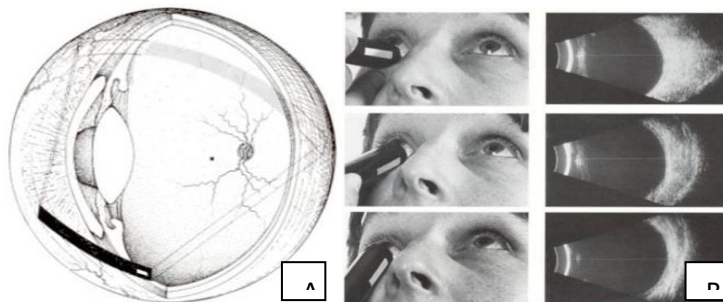
A. Pasien melihat posisi primer dan probe diletakkan kornea dengan marker pada jam 12; B. Ilustrasi orientasi sinar; C. L(lens) dan Nervus Optik (ON) pada sentral echogram



Gambar 70. B scan pada mata kanan potongan aksial horizontal.

A. Probe diletakkan pada kornea dengan marker pada jam 3 (nasal); B. Ilustrasi orientasi sinar; C. Panah menunjukkan macula.

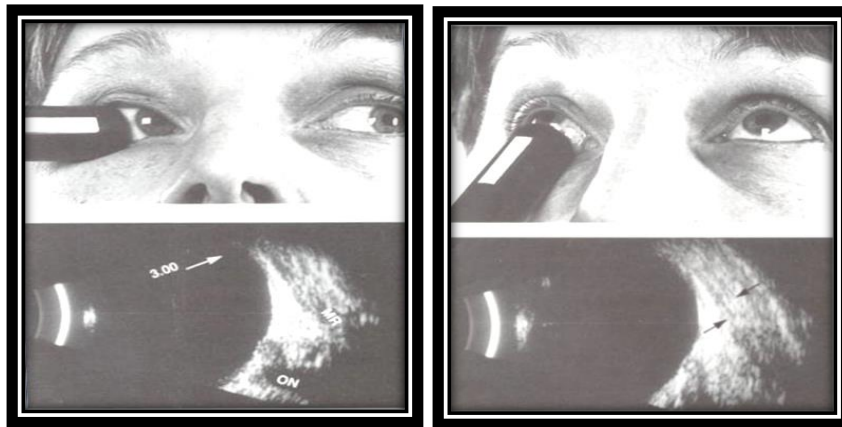
Potongan transversal: probe ditempatkan berada secara tangensial di limbus dengan marker ke arah superior untuk scan vertikal dan scan oblik, atau bagian nasal untuk scan horizontal. Akan diperlihatkan meridian yang terscan berdasar arah jarum jam pada daerah sentral scan. Marker diletakkan paralel di limbus dan probe digeser dari limbus ke forniks dan juga ke samping. Potongan ini memberikan gambaran lesi yang terdapat di bagian lateral secara luas.^{11,12}



Gambar 76. Gambar 71. Posisi probe pada USG B scan .

A) B scan potongan transversal; B) B scan potongan transversal pada jam 12 mata kanan.

Potongan longitudinal: probe diletakkan perpendikuler dari limbus dengan marker mengarah sentral kornea. Meridian scan akan menunjukkan berlawanan arah jarum jam dari posisi marker. Potongan longitudinal digunakan untuk menentukan panjang anteroposterior lesi, atau untuk mengidentifikasi insersi membrane. Gambar dari potongan longitudinal selalu menampilkan bagian anterior mata di superior, bagian posterior mata di inferior.^{11,12}



Gambar 72. Probe B scan longitudinal pada mata kanan.

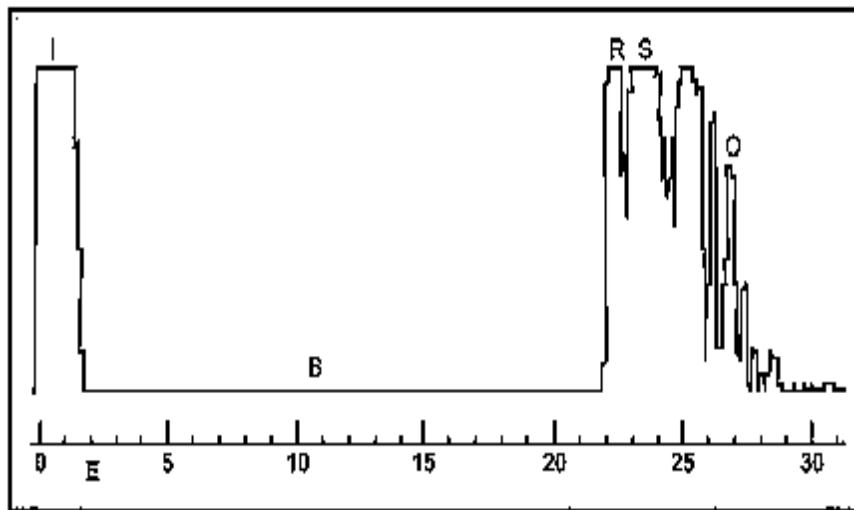
- A. Pasien mengerakkan mata ke arah jam 3, probe diletakkan ditemporal dengan marker ke arah limbus
- B. Echogram, tanda panah fundus perifer pada jam 3
 - a. Pasien mengerakkan mata ke arah jam 12, probe diletakkan diinferior dengan marker ke arah limbus
 - b. Echogram, muskulus rectus superior (tanda panah) dan nervus optik terlihat posisi biasa pada bagian bawah

IC's note !

- Peran USG dalam memprediksi prognosis penyakit: Keunggulan pemeriksaan USG pada mata adalah pemeriksaan ini dapat dilakukan untuk mengetahui kelainan segmen posterior bola mata meski pada kondisi media refrakta yang keruh.

F. INTERPRETASI ULTRASONOGRAFI

1) A scan



Gambar 73. Tampilan normal dari A scan.

Pemeriksaan *echospike* bolamata normal dari kiri ke kanan¹⁴

1. Puncak initial (I) mewakili gaung pada petunjuk probe dan tidak mempunyai makna klinis
2. Garis dasar (B) mewakili rongga vitreous yang dicirikan oleh ketidakhadiran *echospike* dalam kondisi normal. Adanya beberapa titik garis horizontal memerlukan evaluasi untuk melihat kondisi patologis.
3. Puncak retina (R) Satu garis lurus, *echospike* naik tinggi perpendikular dari garis dasar. *Echospike* bergerigi artinya bahwa probe tidak di tempatkan secara perpendikular.
4. Puncak koroid banyak memantulkan cahaya *echospike* tinggi yang terlihat antara puncak retina (R) dan puncak sclera (S).
5. Puncak sklera sulit untuk dibedakan dari puncak koroid.
6. Puncak orbital (O) *echospike* multiple disamping puncak sclera. Puncak awal memantulkan cahaya tinggi dan reflektivitas berkurang dengan cepat karena kelemahan suara pada orbita.
7. Skala elektronik (E) ditampilkan lebih rendah pada layar. Pemeriksaan pada sensitivitas sistem yang rendah (*low gain*) identifikasi secara jelas *echospike* retina dan sklera.

Tabel 9. Hasil pengukuran dari A scan dan contoh.⁹

<i>Measurement</i>	<i>Correlate on A-scan</i>	<i>Examples</i>
<i>Reflectivity</i>	<i>Spike amplitude: absolute value in dB or % between first spike and spike of interest</i>	<i>Retinal detachment: 90-100% posterior vitreous detachment: <80%</i>
<i>Internal structure</i>	<i>Regularity of height</i>	<i>Choroidal melanoma: medium to low internal echoes with vascular pulsations.</i>
<i>Sound attenuation</i>	<i>Angle of decline in spike height</i>	<i>Choroidal melanoma: strong, smooth sound attenuation Choroidal hemangioma : weak sound attenuation</i>

Interpretasi A-Scan²⁴

- Jarak antara dua echospike menunjukkan ukuran tidak langsung dari jaringan seperti panjang bola mata, kedalaman anterior chamber dan ketebalan lensa
- Tinggi dari *spike*/puncak menunjukkan kekuatan dari jaringan mengirim balik echo. Kornea, lensa, dan sklera membentuk amplitude *spike*/puncak yang sangat tinggi. Sedangkan membrane vitreus, perdarahan pada vitreus membentuk puncak yang rendah

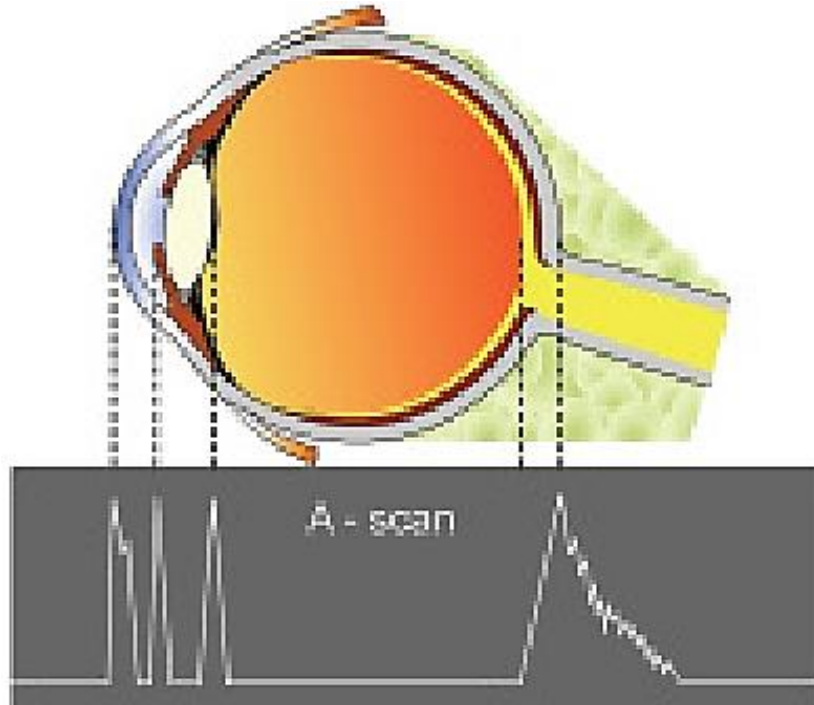
Karakteristik *A scan* yang baik pada biometri adalah terdapat 5 buah echo²⁵:

- Echo kornea yang tinggi
- Echo yang tinggi dari lensa bagian anterior dan posterior lensa
- Echo retina yang tinggi dengan bentuk yang langsing tegak lurus
- Echo yang tidak terlalu tinggi dari sklera
- Echo yang rendah yang berasal dari lemak orbita

Tinggi echo yang baik

- Ketinggian echo dari bagian anterior lensa harus lebih dari 90%

- Echo yang berasal dari posterior lensa tingginya antara 50 s/d 75%
- Echo retina mempunyai tinggi yang lebih dari 75%



Gambar 74. Gambaran echo dari mata normal.

2) B-Scan

Permukaan anterior dari iris biasanya dapat terlihat. Echo dari permukaan iris posterior biasanya bergabung dengan permukaan lensa anterior. Tetapi dengan dilatasi pupil, kurvatura lensa anterior lebih mudah kelihatan secara jelas. Interior dari lensa normal juga muncul seperti suatu daerah homogen akustik (*hypoechoic*). Kurvatura posterior dari lensa biasanya ditunjukkan dengan baik setidaknya dengan sektor scanner di tengah.

Bagian-bagian vitreous secara normal muncul sebagai rongga *anechoic* atau sonolucent. Bentuk interface vitreoretinal halus, kurvatura cekung. Echo dari retina biasanya bergabung dengan echo dari khoroid dan sklera. Pada *B scan* bentuk lemak retrobulbar adalah bentuk pola W dengan bentuk derajat kehitaman yang dibentuk oleh saraf optik homogen. Secara relatif lemak orbita kelihatan seperti massa yang memantulkan refleksi cahaya tinggi dengan otot ekstra

okuler membentuk garis besar terhadap lemak. Bayangan saraf optik terlihat sebagai bayangan segitiga dalam lemak orbital.^{16,18}

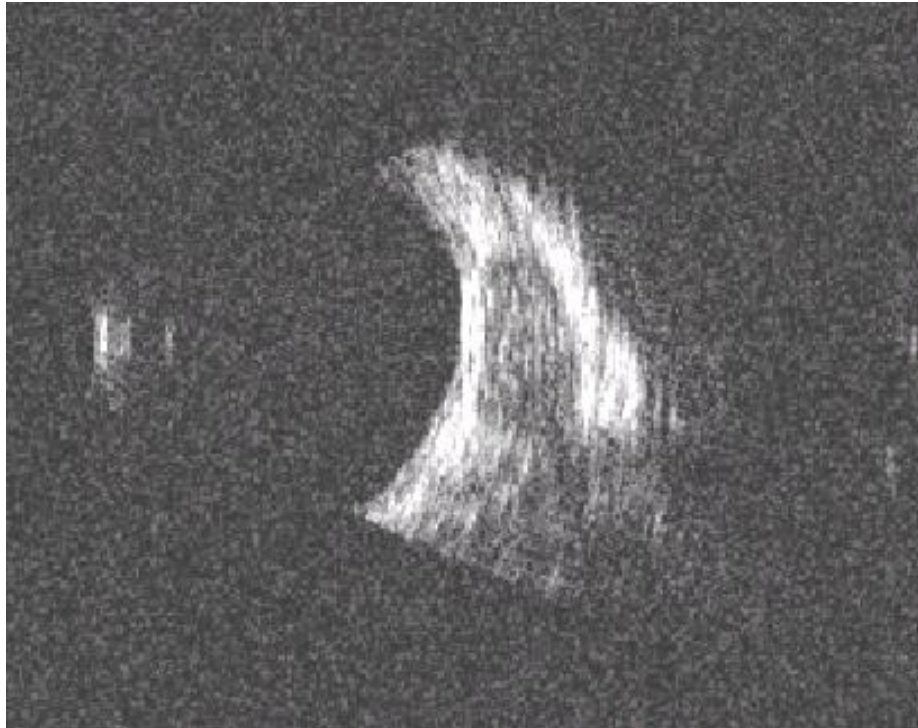
Pengukuran yang berasal dari *B scan* meliputi visualisasi lesi, termasuk lokasi anatomis, bentuk, batas dan ukuran. *B scan* dapat digunakan untuk mendeteksi berbagai macam struktur patologis, termasuk detachment retina atau choroidal, benda asing, kalsium dan tumor. Gema/echo pada *B scan* dapat diubah menjadi titik dengan intensitas kecerahan yang sebanding dengan amplitudo gema/echo. Sebagai contoh, gema/echo amplitudo tinggi muncul sebagai densitas *hyperechoic* (putih), dan gema yang tidak ada atau tampak hitam terlihat sebagai densitas *anechoic*. Hal ini terutama berguna dalam pencitraan tumor orbita anterior, myosistis dengan penebalan tendon ekstra ocular muscle yang terkait dan visualisasi vena oftalmika superior pada fistula karsinoma karotis. Mirip dengan A-scan, *gain* yang tinggi menghasilkan sensitivitas yang baik, namun resolusinya buruk.⁹

G. ARTEFAK PADA ULTRASONOGRAFI

Artefak-arte-fak yang beragam dapat ditemukan pada pemeriksaan USG bolamata yang dapat mengakibatkan kekeliruan dari interpretasi. Namun, adakalanya artefak-arte-fak ini dapat membantu pemeriksaan.²⁶

1) Artefak Elektronik

Pada situasi tertentu, artefak ini muncul karena proses elektronik yang terlibat dalam menghasilkan echo ultrasonik. Artefak yang khas adalah munculnya gambaran salju yang menghasilkan *background noise* ("grass" pada A-scan) menyerupai gangguan sinyal pada layar televisi. Hal ini dieliminasi dengan memberikan energi penghasil echo yang melewati ambang batas tertentu sebelum memulai presentasi *B scan* untuk mencegah *background noise* dengan amplitudo rendah. Masalah ini sudah jarang dijumpai pada USG *B scan* modern.¹⁶



Gambar 75. Background noise (snow).

2) Artefak Kopleng

Artefak yang paling sering didapatkan pada USG *B scan* kontak disebabkan oleh kopleng yang buruk. Bila kepala *A scan* tidak terhubung baik pada bolamata atau kelopak dengan methylselulose, terjadi kantung-kantung udara dan gaungan suara yang dapat menimbulkan ikutan echo duplikat. Kendala artefak kopleng lebih berat pada pemeriksaan bolamata secara langsung dibandingkan dengan melalui kelopak mata. Artefak kopleng jarang terjadi pada USG *A scan* kontak, karena sondanya yang kecil sehingga dapat terhubung baik dengan bolamata atau kelopak.²⁶

3) Penggaungan Suara

Jenis artefak ini disebut juga echo multipel, dianalisis secara mendalam oleh Kossoff. Artefak ini biasanya muncul sepanjang aksis kornea dan lensa ketika transduser disejajarkan secara perpendikuler terhadap permukaan jaringan dan echo

dengan amplitudo tinggi direfleksikan kembali. Echo yang timbul direfleksikan dari transduser ke jaringan kemudian direfleksikan kembali dan menghasilkan echo reduplikasi dengan jarak yang variatif.

Suara yang menggaung sebenarnya dapat disebabkan oleh adanya jarak antara sonde dan permukaan yang merefleksi pada mata. Suara yang menggaung ini menimbulkan tampilan duplikasi echo pada layar USG dengan *A scan* maupun *B scan*. Echo palsu dapat berasal dari suarayang direfleksikan dari permukaan kornea, dari permukaan lensa anterior ke posterior atau dari spekulum kelopak sebagaimana yang biasa dipakai pada tehnik scan imersi.

14,26

Dalam pemeriksaan *B scan* kontak, suara dapat menggaung antara permukaan sonde dan diafragma kepala *A scan*. Penggaungan ini menimbulkan suatu artefak "*bordering*" yang tampak sebagai duplikasi echo yang mengikuti struktur mata yang berefleksi. Penggaungan ini adakalanya membantu dalam mengidentifikasi struktur yang sangat berrefleksi. Permukaan lensa posterior, benda-benda asing, dan retina yang lepas kerap memperlihatkan fenomena ini. Dimana retina lebih *bordering* daripada membran vitreus .²⁶

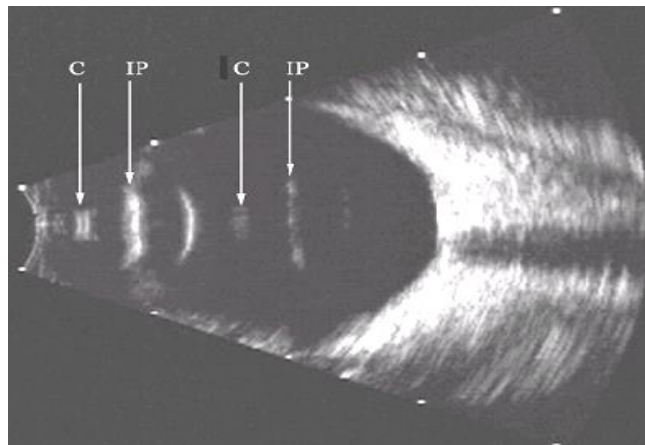


Gambar 76. Penggaungan suara pada USG.

4) Pembayangan

Merupakan artefak akustik lain berupa reflektor suara yang sangat tinggi, yang memudahkan sedikit suara pada struktur dibaliknya dan bisa menimbulkan pembayangan komplit atau sebagian. Benda - benda asing pada permukaan retina biasanya membayangi orbita dibaliknya. Pembayangan ini bisa sangat membantu dalam mengidentifikasi benda-benda asing, seperti lokasinya.

Lensa yang terkalsifikasi sangat membayangi dan menyebabkan hilangnya informasi seluruh struktur dibaliknya. Kalsifikasi koroid dapat sepenuhnya membayangi orbita. Retinoblastoma yang lama juga membuat adanya deposisi kalsium. Kalsium dalam retinoblastoma kerap menyebabkan pembayangan orbita dan bisa membantu dalam pemeriksaan tumor.^{14,26}



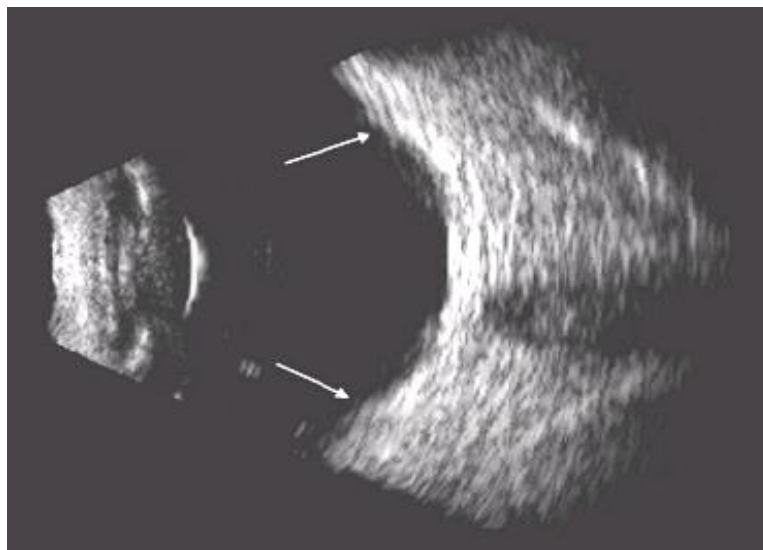
Gambar 77. Artefak pembayangan pada USG.
Artefak diatas terjadi karena lensa yang terkalsifikasi, menyebabkan distorsi bayangan di posterior dan area hypoechoic.

5) Gas Intra Okular

Udara dalam globus bisa menimbulkan pembayangan komplit karena gelembung udara memberikan reflektivitas tinggi yang secara virtual, dimana 100% suara kembali ke sonde. Saat gelembung udara yang besar muncul, deringan terjadi antara sonde dan jaringan udara yang bisa secara total menghalangi detil-detil posterior.²⁶

6) Dentuman Baum

Refraksi gelombang suara oleh bagian perifer lensa dapat menimbulkan artefak *B scan* kutub posterior yang disebut sebagai "Dentuman Baum" (*Baum's Bumps*). Suara yang melewati lensa secara sentralis, menghantam permukaan lensa secara tegak lurus dan tidak direfleksikan. Hantaran suara pada lensa bagian perifer dideviasi secara lateral dan lalu menghantam dinding globus posterior lebih cepat daripada gelombang suara sentralis. Balikannya bagian perifer suara menimbulkan dentuman-dentuman artifisial pada permukaan retina koroid. Dentuman-dentuman tersebut biasanya bisa ditemukan berpasangan, secara tipikal pada salah satu sisi nervus optik bila pancaran suara berada ditengah melewati lensa. Menghindari lensa dengan pancaran suara merupakan cara mudah untuk mencegah kekacauan yang disebabkan oleh dentuman-dentuman Baum.²⁶



Gambar 78. Dentuman Baum.

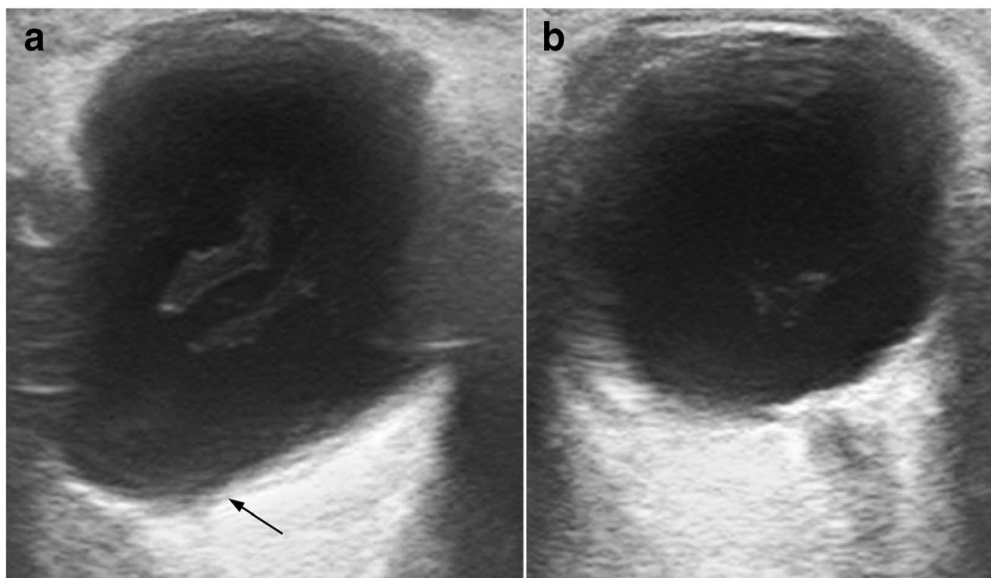
7) Lensa Intraokuler dan Keratoprostesis

Sebuah lensa intraokular adalah reflektor suara yang tinggi dan bisa menimbulkan deringan seperti sebagian pembayangan struktur dibaliknya. Suatu keratoprosthesa bisa menimbulkan pembayangan pancaran suara, tetapi mata tersebut bisa diperiksa dengan menghindari keratoprosthesa.²⁶

H. GAMBARAN PATOLOGIS PADA USG

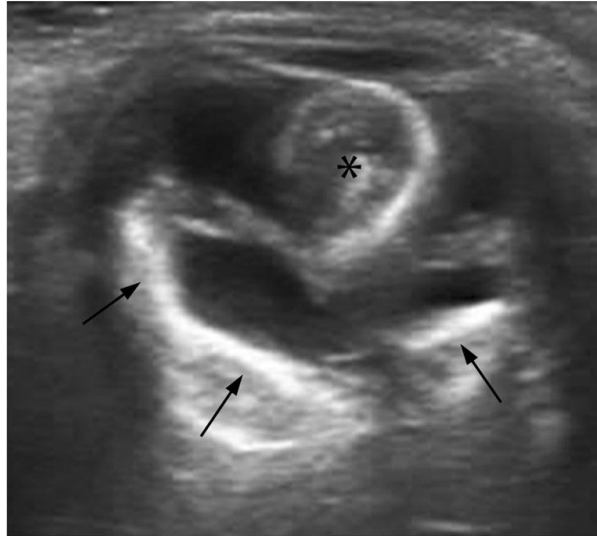
Diameter anteroposterior bolamata mencapai 22 hingga 25 mm pada remaja dan dewasa. Untuk memperoleh pengukuran yang akurat pada *B scan* diperlukan kalibrasi pada *A scan ultrasound* dan pendekatan yang teliti. Pada pasien dengan myopia kronik, aksis antero-posterior bola mata lebih panjang. Bola mata lebih menipis, dan sering membentuk pola memanjang atau pear-shaped yang bersakus pada bagian posterior, juga dikenal sebagai sebutan stafiloma posterior, yang juga dapat muncul sebagai akibat glaukoma sekunder atau trauma.⁵ (Gambar. 84)

Ptisis bulbi merupakan end stage dari berbagai jenis kelainan okuler, umumnya ditemukan setelah trauma, kegagalan operasi, dan kelainan kongenital. Pada USG, bola mata tampak mengkisut, biasanya disertai kalsifikasi dinding dan tampak fibrosis *hyperechoic* dari retina ke posterior lensa yang dapat menyebabkan *retinal detachment* (Gambar. 85).⁵



Gambar 79. Perbandingan hasil USG pada perempuan yang miop anisometrop kronik pada mata kanan.

- A) *Ultrasound* longitudinal menunjukkan perpanjangan aksis anteroposterior dari mata kanan, dengan *pearshaped* pada polus posterior yang juga disebut dengan stafiloma posterior. B. Gambar USG pada bola mata kiri yang normal.⁵

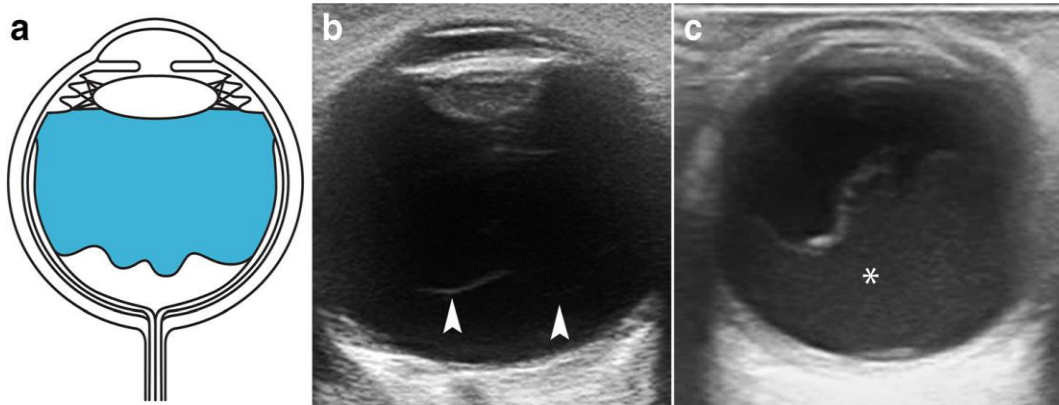


Gambar 80. Gambaran USG katarak dan dislokasi lensa. Laki-laki 63 tahun dengan Ptisis bulbi dengan riwayat trauma sejak kecil. Aksis pada USG kecil, terlihat mengkisut dengan kalsifikasi dinding, juga tampak katarak dan dislokasi lensa parsial.⁵

1) Kelainan pada Korpus Vitreus

Dalam mengevaluasi korpus vitreus pada *B scan*, biasanya harus diperhatikan kasus yang paling sering terjadi yakni *posterior vitreous detachment* (PVD), normalnya pada usia muda korpus vitreus bersifat echolucent, namun seiring dengan pertambahan usia maka pada korpus vitreus dapat terjadi *syneresis* dan dapat terjadi *posterior vitreous detachment* (PVD) yang bisa terlihat sebagai garis tipis yang dapat bergerak dengan *spike* yang rendah bila kita menggunakan kombinasi USG A dan B-Scan.^{12,14,27}

Vitreus melekat pada retina dan akan terlihat seperti massa jernih didepan *retinochoroidoscleral complex*. *Posterior vitreous detachment* (PVD) dapat terjadi karena proses penuaan, trauma atau perdarahan vitreus yang terlihat seperti membran konsentrik echogenic didepan *retinochoroidoscleral complex* dengan ruangan yang jernih pada *subvitreous space*. PVD dapat kecil, interuptus, perifer atau kontinyu dan total. Pada gambaran A-Scan reflektivitasnya rendah tetapi dapat tinggi jika membrannya tebal dan sejajar dengan sel darah merah. PVD biasanya tidak memperlihatkan perlekatan dengan papil nervus optik.²⁷



Gambar 81. Posterior vitreous detachment (PVD).

A, B ilustrasi dan gambaran US yang memperlihatkan PVD. Perhatikan penampakan undulasi dari vitreus posterior yang dapat diidentifikasi lebih baik pada dynamic scanning (tanda panah). C. US aksial pada laki-laki 67 tahun dengan penglihatan kabur. Perhatikan echo tipis di rongga retrohialoid (tanda bintang), hal ini sesuai dengan perdarahan retrohialoid.⁵

Vitreous floaters nampak sebagai satu atau lebih titik *hypoechoic* pada bagian mid /posterior cavum vitreous yang terlihat bergerak pada USG B-Scan. Hal ini biasanya berhubungan dengan membesarnya ukuran bola mata. Pada A-Scan titik-titik echo ini memiliki reflektivitas yang sangat rendah (2-20%) dengan *gain* antara 5-6db.

Perdarahan vitreous dapat ditemukan pada kondisi baru, resolusi, atau terorganisasi, dengan pembentukan membran yang dapat menyebabkan ablasi retina.²⁷

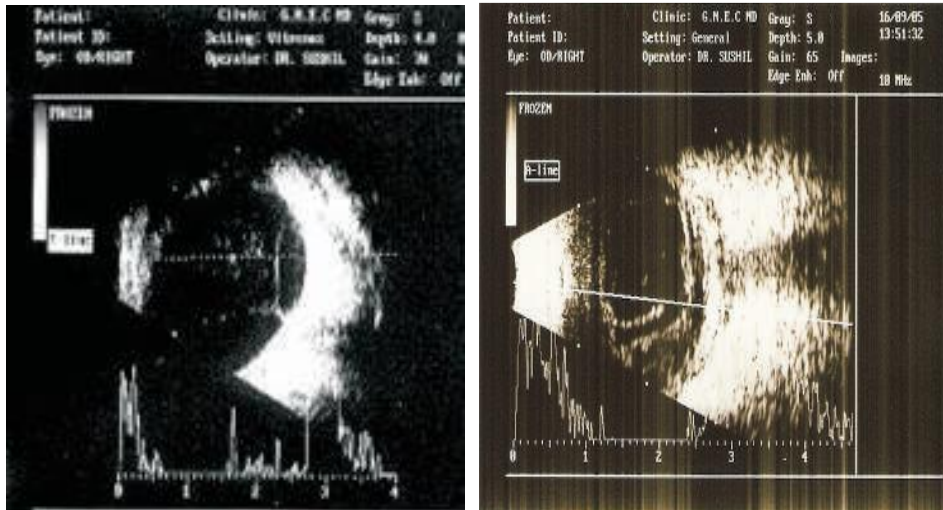
- a. Untuk mendeteksi perdarahan vitreous yang baru, *gain* dapat ditingkatkan sampai 10db. Hal ini akan tampak sebagai gambaran beberapa echo ringan pada vitreus yang tidak meluas ke belakang batas vitreus. Gambaran ini biasanya melekat pada permukaan retina, tetapi dapat lepas dan akan tampak sebagai PVD (posterior vitreous detachment). PVD kadang terlihat atau tidak pada *B scan* tergantung derajat dan lokasi perdarahan. Pada gambaran A-Scan, titik perdarahan (pulsasi echo) akan memperlihatkan reflektivitas yang rendah (5-10%).
- b. Pada perdarahan yang sudah lama, titik-titik echo terlihat lebih padat dan memperlihatkan reflektivitas yang lebih tinggi (sampai 60%) pada gambaran A-Scan.



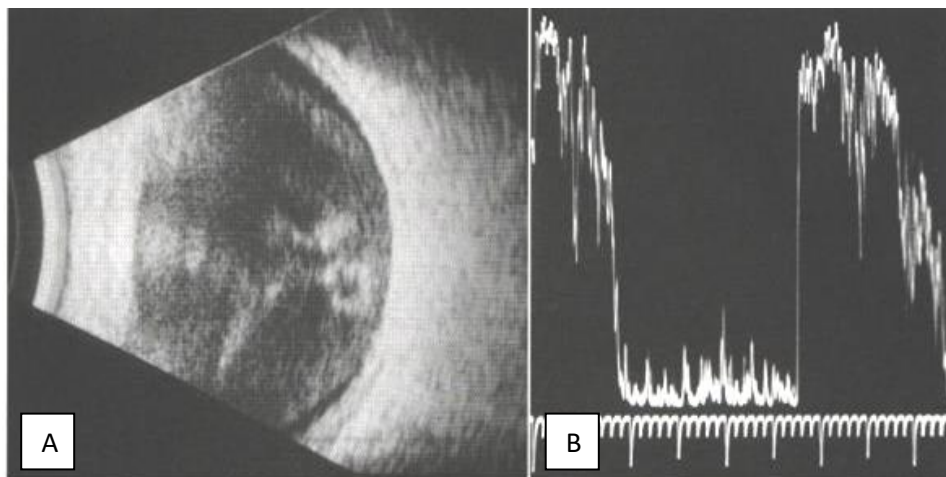
Gambar 82. . Perdarahan Vitreus yang baru dan yang lama.

- c. Pada perdarahan vitreous yang sudah mengalami resolusi, titik-titik echo memperlihatkan penurunan jumlah dan kecerahan gambar
- d. Pada perdarahan vitreos yang sudah mengalami organisasi dapat membentuk membran vitreus yang tampak seperti garis echo pada *B scan* menyerupai ablasio retina. Perlekatan *echomembrane* ini diatas papil nervus optik dan memiliki perbedaan kuantitas echography 6-15db untuk retina dan >20 db untuk membran vitreus. Hal Ini membantu dalam membedakan antara membran vitreus dan ablasio retina.²⁷

Pada endoftalmitis /vitritis sel-sel inflamasi pada *B scan* terlihat seperti titik-titik yang tersebar difus, atau terlokalisir di anterior, mid atau posterior, sepertiga dari cavum vitreus tergantung etiologi. Pada gambaran *A scan*, titik-titik ini terlihat seperti kekeruhan dengan reflektivitas rendah ke medium (10-60%). Sel-sel inflamasi ini mengalami resolusi dengan cepat membentuk membran vitreus, sehingga membutuhkan pemeriksaan berulang.²⁷

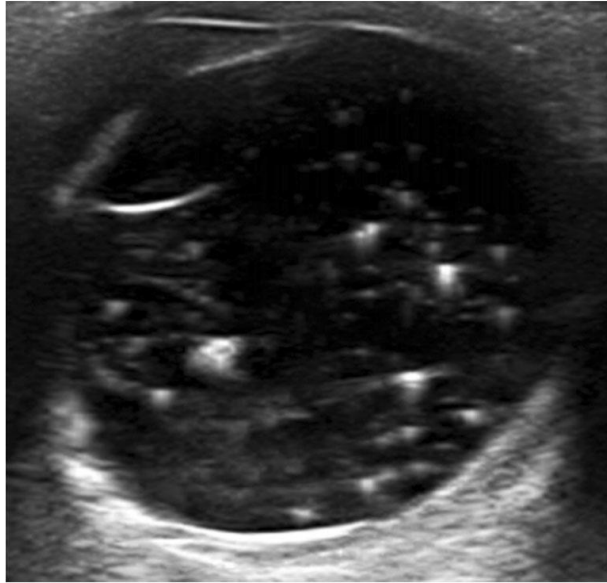


Gambar 83. Gambaran sel-sel inflamasi pada B scanpada kasus Endofthalmitis/Vitritis.



Gambar 84. Gambaran USG Endofthalmitis.
A) B scan Endofthalmitis; B) A-Scan endofthalmitis¹

Asteroid Hyalurosis merupakan kondisi dimana terjadi penimbunan kristal kalsium dalam korpus viterus, yang pada *B scan* terlihat seperti titik-titik echo yang sangat padat, homogen, dengan reflektivitas medium ke tinggi (50-100%) yang terlokalisasi pada inti corpus vitreus. Kadang ditemukan ruang kosong yang merupakan *retrovitreal* atau *pre-retinal space*.²⁷

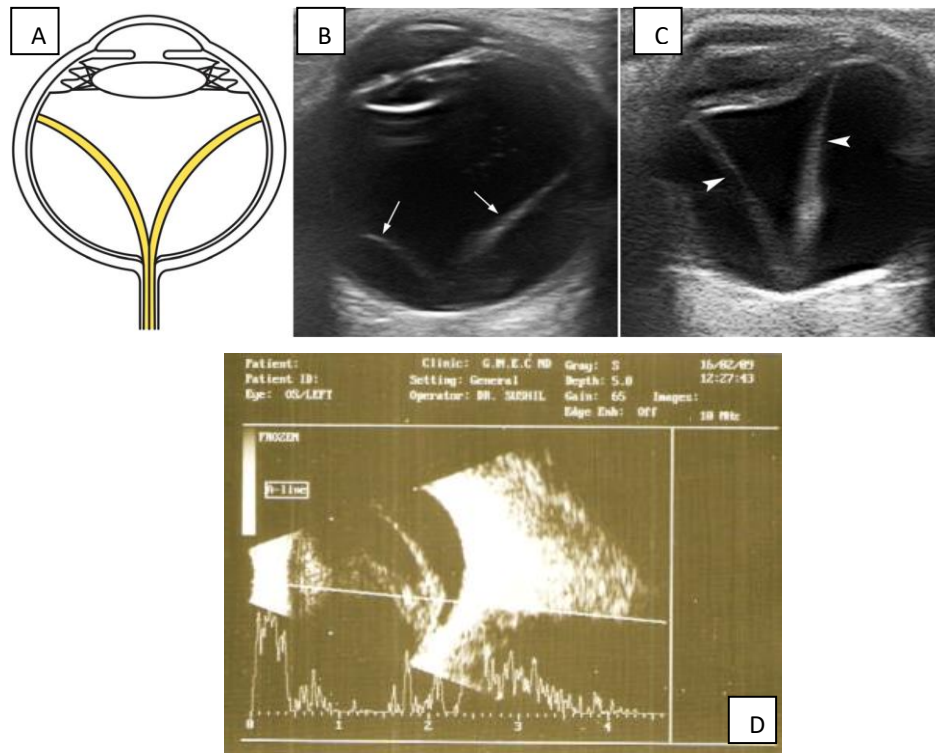


Gambar 85. Gambaran USG Asteroid hyalosis. USG aksial pada laki-laki 58 tahun tanpa gangguan penglihatan. Perhatikan penampakan insidental di dalam vitreus berupa beberapa densitas hyperechoic echo yang kecil disertai artefak comet-tail. (1)

2) Kelainan pada Retina

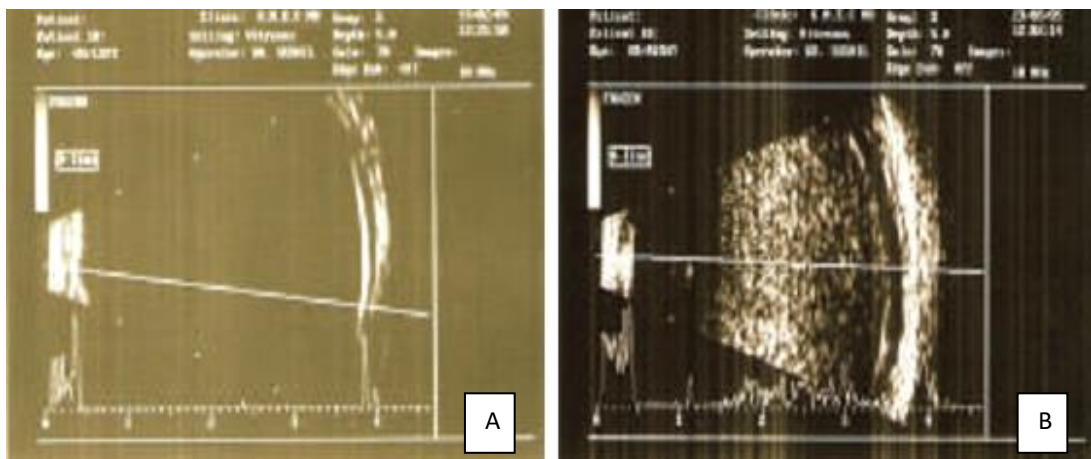
Dengan melakukan pemeriksaan retina melalui *B scan*, kondisi seperti retinal tear, retinal detachment dan retinoschisis dapat dengan jelas dibedakan. Retinal tear akan tampak pada potongan longitudinal sebagai “*flap*”. Flap akan tetap melekat pada permukaan vitreus posterior. Cairan subretinal dapat membentuk dasar flap sehingga dapat memperluas flap. Retinal detachment akan menghasilkan refleksifitas yang tinggi, tampak sebagai membran undulasi (jika terlihat dalam keadaan bergerak) pada *B scan*.

Jika terjadi retinal detachment total, akan terlihat adanya *funnel shape*, dimana retina masih melekat pada daerah ora serata dan nervus optic. Retinoschisis, biasanya susah untuk dibedakan dengan retinal detachment pada pemeriksaan funduskopi, sehingga dapat dievaluasi dengan menggunakan *B scan*. Pada *B scan*, retinoschisis akan terlihat sebagai *dome-shaped*, rigid dan tipis (tidak dapat di undulasi)¹²



Gambar 86. Gambaran USG Retinal detachment.

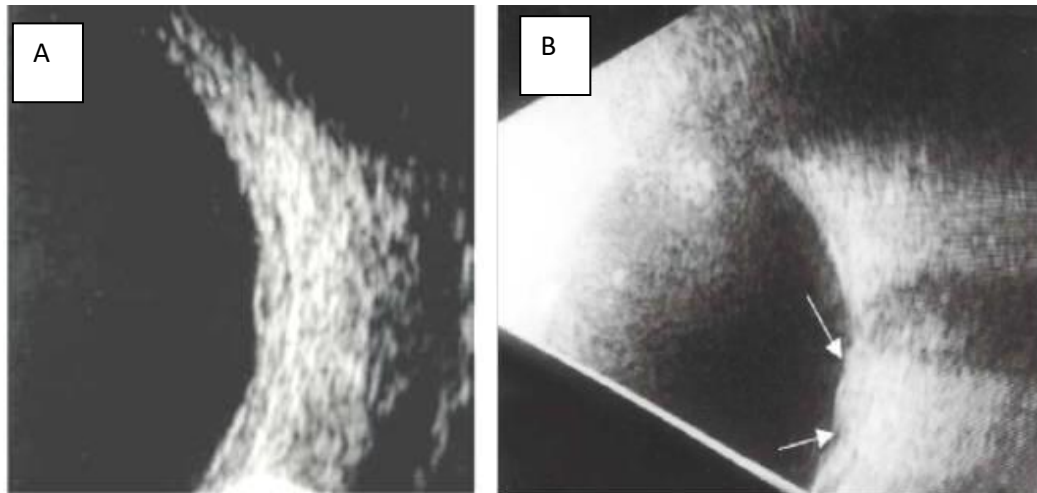
(A): diagram ilustrasi dari total retinal detachment. Perhatikan titik perlekatan anatomis retina. (B): dua garis echogenic membentuk acute angle, dengan BV shape yang merupakan karakteristik dari retinal detachment akut. Pada stadium ini, lembaran retina tipis dan mobile (anak panah). Kondisi ini memerlukan tindakan operatif. (C): Retinal detachment kronik. Pada stadium ini lembaran retina terlihat tebal dan kaku, menggambarkan konfigurasi funnel-shaped (panah); pada kondisi ini tidak disrankan untuk dilakukan tindakan operatif. (D): Retinal detachment dengan A scan^{5,1}



Gambar 87. Vitreous Expander.
A) Silikon dan B) Perfluorokarbon¹

Lai J. et al pada tahun 2003 melaporkan penelitiannya mengenai B scanUSG untuk mendeteksi adanya penebalan makula dan hasil penelitiannya menunjukkan bahwa USG juga dapat digunakan untuk

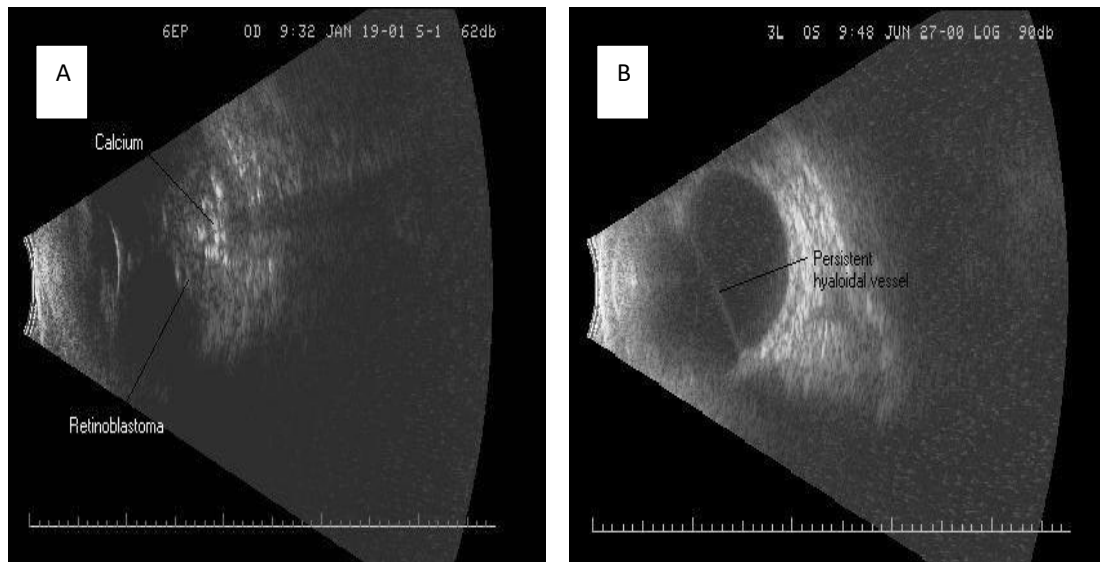
mendeteksi adanya penebalan makula. Sementara Bernard et al pada tahun 2005 melaporkan penelitiannya mengenai USG *B scan* untuk mendeteksi macular hole dan hasilnya menunjukkan bahwa USG *B scan* dapat digunakan untuk membedakan stage 3 dan stage 4 dari *macular hole*.^{14,19}



Gambar 88. USG area Makula.
A) Macular Hole dan B) Macular Thickening¹

Retinoblastoma terlihat sebagai suatu tumor solid yang berasal dari lapisan retina yang tumbuh ke arah cavum vitreus. Tumor ini harus dibedakan dengan beberapa kasus penyebab leukokoria (*white pupil*). Kalsifikasi yang terjadi dalam massa tumor adalah patognomonik pada gambaran retinoblastoma. Pada *B scan* kemungkinan ditemukan efek *shadowing* dibelakang lesi dari massa orbita, adanya ablasi retina dapat juga ditemukan bersamaan dengan adanya massa retinoblastoma. Pada gambaran *A scan*, ditemukan spike moderat dengan reflektivitas internal, tapi spike tinggi dan ireguler dapat juga ditemukan jika ada nekrosis dan kalsifikasi. Umumnya ukuran bolamata normal, kecuali pada stadium glaukomatosa, sedangkan pada *persistent hyperplastic primary vitreous (PHPV)*, ukuran bolamata cenderung lebih kecil dan dalam cavum vitreus terlihat persistensi pembuluh darah dengan gambaran echo membran yang berasal dari papil nervus optik ke arah bagian belakang lensa.²⁷

Retinopathy of prematurity ditandai dengan adanya membran vitreus multipel dan ablasio retina di perifer dengan ukuran bolamata yang lebih kecil. Pada *Coat's disease* dapat terlihat ablasio retina tipe eksudatif dengan kekeruhan cairan subretina atau adanya kristal kolesterol pada ruang subretina.²⁷

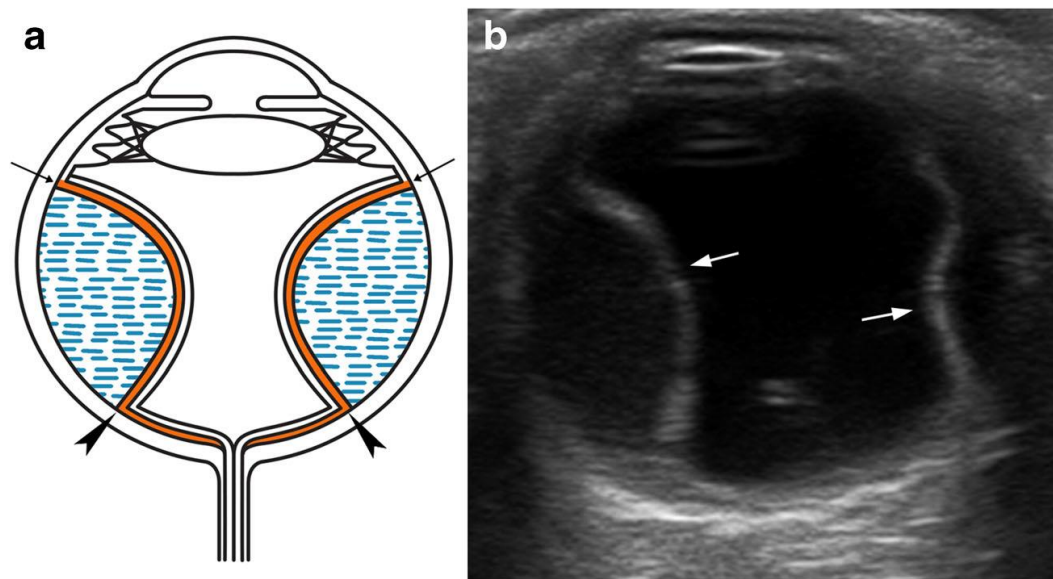


Gambar 89. USG pada keganasan mata. A) Retinoblastoma dengan kalsifikasi, B) PHPV¹

3) Kelainan pada Koroid

Normalnya pada pemeriksaan *B scan* koroid tampak lebih tebal dibandingkan retina. Kelainan yang dapat terjadi pada koroid diantaranya adalah koroid detachment dan melanoma koroid. Koroidal detachment bisa terjadi secara spontan, setelah trauma atau setelah tindakan operatif. Koroidal detachment biasanya terjadi di perifer, dapat terlokalisir maupun total. Keadaan ini dapat terlihat setelah operasi *filtering* pada glaukoma, tampak seperti kubah yang meninggi (*dome shaped elevation*) dengan ruang sub koroidal yang jernih, sedangkan pada 90-100% gambaran A-Scan terlihat puncak spike ganda yang tinggi. Tidak terlihat atau hanya sedikit sekali *after movement* pada kinetic echography. Pada kasus perdarahan ekspulsif impending atau koroidal detachment traumatik, pada ruang sub koroid terlihat perdarahan dengan gambaran B-can seperti titik-titik kekeruhan. Dapat terlihat dua atau lebih

kubah yang bertemu ditengah-tengah cavum vitreus dan membentuk *kissing choroidals*.²⁷



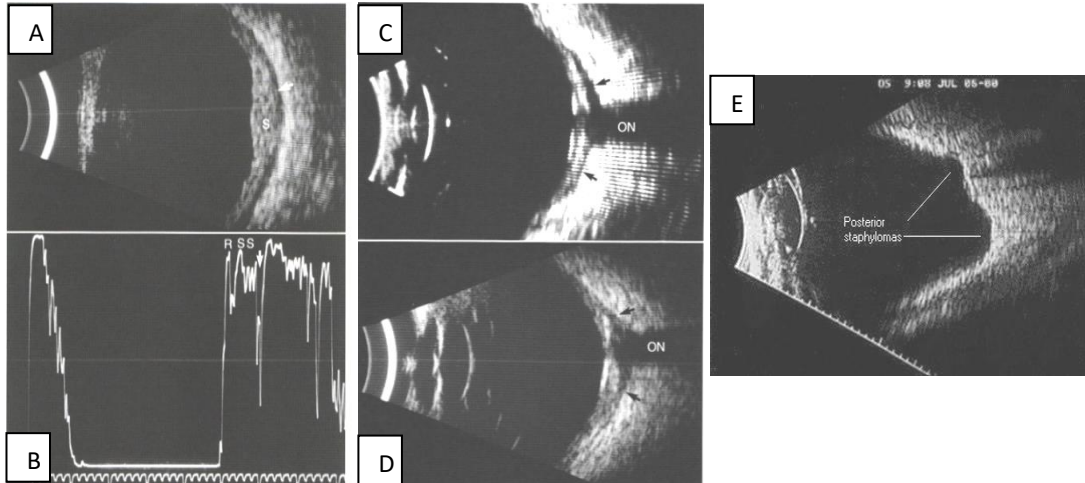
Gambar 90. Choroidal detachment.

A) Diagram yang memperlihatkan bilateral exudative choroidal detachment yang khas, dengan dua garis konveks yang rigid menonjol ke dalam vitreus, melebar dari scleral spur di dekat korpus siliaris (anak panah) menuju arah yang setinggi dengan foramina tempat keluarnya vena vortex (panah) pada jarak yang sama dari papilla. B) Dua buah garis menggembung ke dalam vitreus, menggambarkan sebuah kondisi exudative choroidal detachment.⁵

4) Kelainan pada Sklera

Beberapa penyakit mata melibatkan sklera, namun evaluasi sklera terutama bagian posterior cukup sulit karena tidak dapat dilihat secara langsung dan kadang menyebabkan kesalahan dalam mendiagnosa. Keberadaan USG cukup membantu dalam mengevaluasi sklera terutama pada bagian posterior. USG dapat digunakan untuk mendeteksi adanya penebalan pada sklera pada keadaan nanophthalmus, hipotoni, ptisis bulbi dan skleritis.^{14,19}

Teknik immersi baik digunakan untuk mengevaluasi sklera bagian anterior, sedangkan bagian posterior dapat dievaluasi dengan kombinasi probe pada posisi aksial, para-aksial dan longitudinal. Awalnya digunakan *gain* yang relatif tinggi, setelah struktur sklera tampak pada monitor maka *gain* dikurangi agar batas sklera dari jaringan sekitarnya menjadi lebih jelas.¹⁹



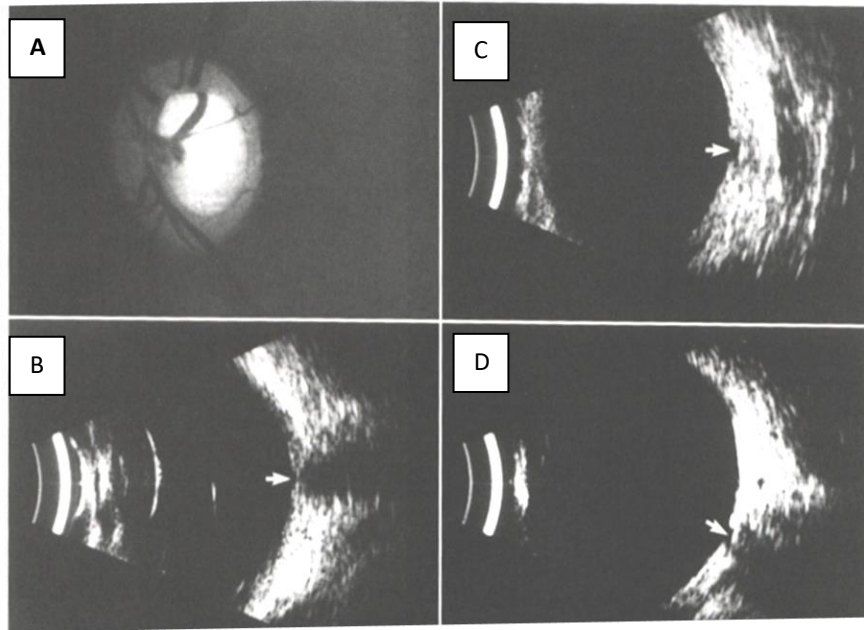
Gambar 91. Gambaran USG pada sclera.
 (A,C,D), B scan penebalan Sklera, (B) A-Scan penebalan sklera, (E) Stafiloma sklera¹

5) Kelainan pada Korpus Siliaris

Korpus siliaris dapat terlihat jelas dengan *high-resolution scanning*, bagaimanapun, *ciliary body detachment* dapat meluas ke koroid perifer dan dapat terlihat pada *B scan* kontak. Refleksifitas rendah hingga medium dapat terlihat pada ruang subsiliaris. Tumor korpus siliaris mirip dengan tumor yang terdapat pada koroid dan memiliki karakteristik echografik yang sama. Walaupun kebanyakan tumor korpus siliaris adalah melanoma, variasi tumor juga dapat diperoleh pada korpus siliaris, termasuk tumor metastasis, meduloepitelioma dan leiomyoma.¹²

6) Kelainan pada Nervus Optik

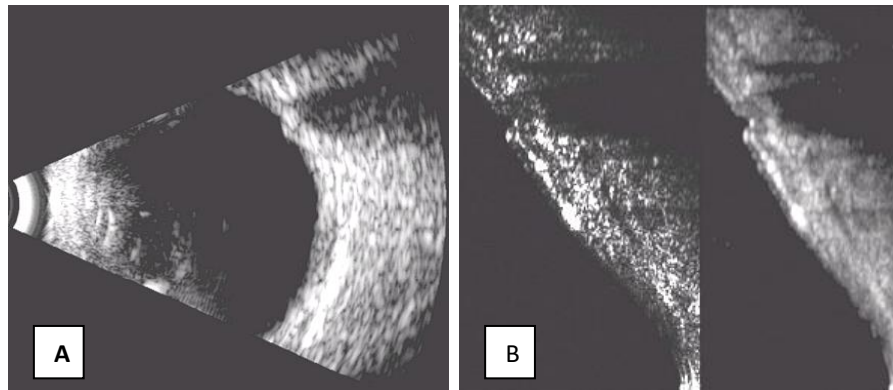
USG *B scan* dapat membantu memberikan informasi yang cukup baik mengenai perkiraan ukuran diameter dari nervus optik dan memberikan gambaran adanya *cupping* pada penderita glaukoma dengan kekeruhan media refrakta. Namun seiring dengan perkembangan teknologi, USG C-scan juga dapat membantu memberikan informasi mengenai ekstensi ke nervus optik pada pasien dengan retinoblastoma.^{23,28}



Gambar 92. Gambaran USG pada Nervus optik.
 (A) Funduskopi pada pasien glaucoma, (B-D) Gambaran Cupping pada Echogram *B scan*,
 (E&F) Ukuran dari nervus optik dengan menggunakan C-Scan

Papilledema, papillitis, pseudopapilledema, drusen, dan melanositoma terlihat seperti protrusi bagian intrasklera dari nervus optik kedalam cavum vitreus pada gambaran B-Scan, dengan peningkatan reflektivitas pada daerah ini. Papilledema dan papillitis tidak dapat dibedakan melalui gambaran *B scan* bagian intrasklera dari nervus optik saja, meskipun pada papilledema gambaran cairan subretina kadang terlihat.

Pada kasus pseudopapilledema yang disebabkan oleh drusen, echo orbita terlihat normal, ukuran drusen kemungkinan sangat besar sehingga menyebabkan *shadowing* atau *internal echo* yang memperbesar ukuran dari segmen anterior nervus optik. Optik neuritis memperlihatkan gambaran echo garis sejajar yang seakan-akan memisahkan antara saraf optik dan selubung sarafnya.¹⁶



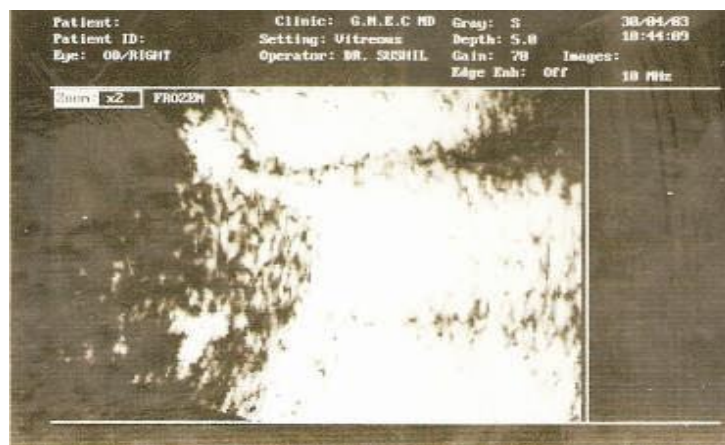
Gambar 93. Gambaran USG pada papil N.optik.
A) Papil edema dan B) Pseudopapiledema karena drusen

7) Kelainan pada Trauma Okulo-Orbital^{1, 27}

Trauma okulo-orbital memiliki beragam manifestasi yaitu: Hifema dengan iridodialisis; soft globe dengan rupture sklera; dislokasi lensa/ Intraokular lensa kedalam korpus vitreus; perdarahan ekspulsif dengan perdarahan orbital; pthisis bulbi; benda asing di intraokular/orbital.

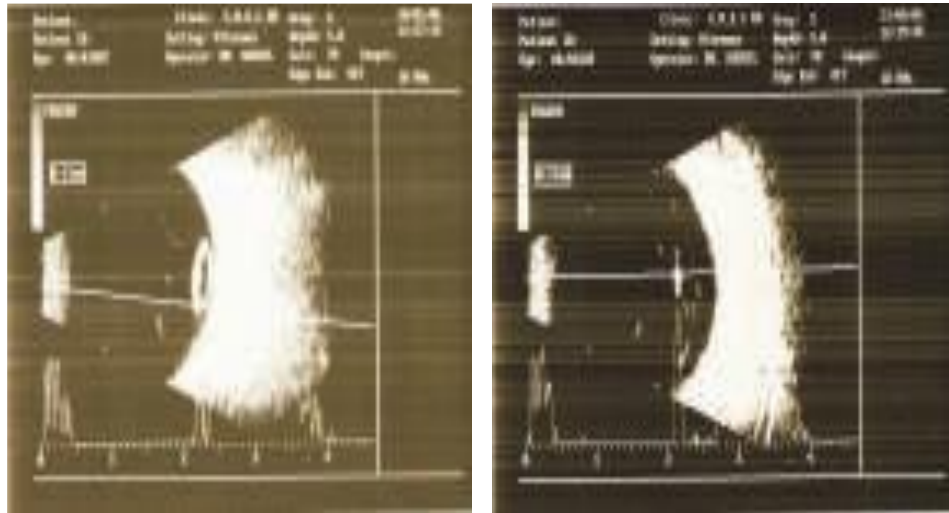
Ultrasound biomicroscopy (UBM) diperlukan dalam mengevaluasi hifema dengan iridodialisis dibandingkan dengan *B scan* yang lebih berguna menilai segmen posterior.

Pada ruptur mata dengan tekanan intraokular rendah, dapat terjadi dehisensi sklera dengan perdarahan vitreus, prolaps jaringan uvea/vitreus atau perdarahan vitreus dengan ablasio retina. Dehisensi sklera biasanya terjadi di insersi otot ekstraokular dan dapat berjalan konsentris menuju limbus (Gambar 101). Dalam kasus ruptur kecil sklera, semburan darah ke kavum vitreus terlihat oleh B-scan.



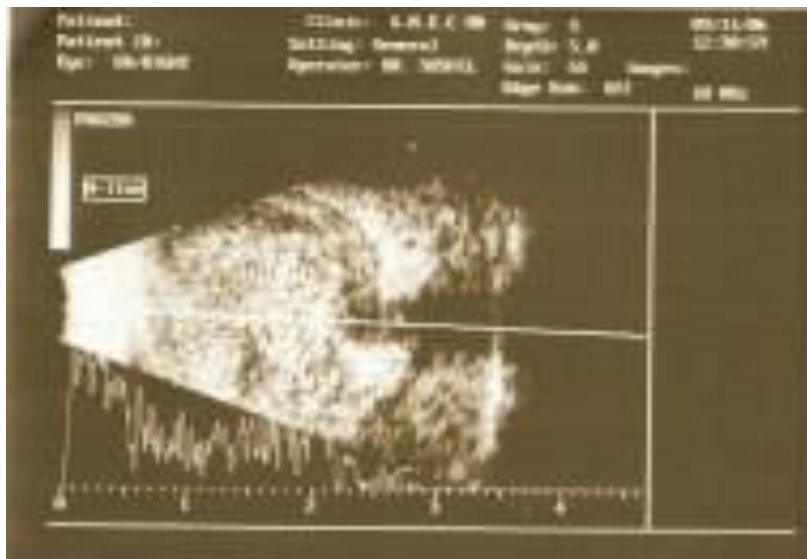
Gambar 94. Dehisensi sklera pada trauma okuli.

Dislokasi posterior lensa kristalina ke kavum vitreus akan tampak seperti massa bikonveks yang mobile atau terfiksir. Fragmen lensa dalam vitreus biasanya menyebabkan vitritis. Lensa intraokular dalam kavum vitreus tampak seperti benda asing dan menunjukkan refleksifitas tinggi dan efek bayangan dibelakangnya. (Gambar 102)



Gambar 95. Dislokasi posterior lensa ke kavum vitreus.

Hifema, perdarahan vitreus dengan perdarahan koroid dan ruptur sklera dengan perdarahan orbita dapat terlihat terjadi bersama-sama dan kondisi tersebut dapat tampak sebagai haemophthalmos. (Gambar 103)

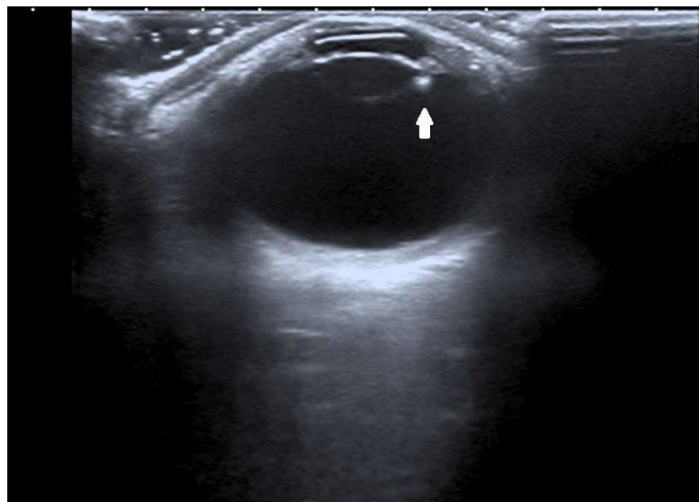


Gambar 96. Gambaran USG Haemophthalmos.

IOFB terlihat seperti bintik echodense dengan 100% refleksi pada gelombang A-scan terlepas dari sifat benda asingnya dan ultrasonografi

dapat memberikan secara tepat ukuran dan lokasinya. Efek bayangan biasanya terlihat (Gambar 104). Menurunkan gelombang pada mesin sebesar 10db dapat memberikan perbedaan antara bekuan darah padat dan fragmen lensa. Juga, efek bayangan tidak terlihat pada fragmen lensa.

Benda asing berukuran kurang dari 0.2 mmdan dalam bola mata yang tertutup oleh perdarahan paling baik terlihat dengan pemeriksaan CT scan. Benda asing berbentuk sferis seperti peluru pistol, memiliki permukaan anterior dan posterior dan diantara kedua permukaan terdapat sejumlah gema/echo internal. Echo ini akan tampak seperti kekeruhan echoik dengan jejak gelombang berbentuk baji. Jejak gelombang ini dapat dihilangkan dengan menurunkan intensitas gelombang namun bintik echodense awal akan tetap tinggal.



Gambar 97. Intraocular Foreign Body (IOFB).

KESIMPULAN

Ultrasonografi dapat digunakan sebagai modalitas penunjang diagnostic untuk mengevaluasi pasien dengan gangguan pada mata. Saat ini penggunaan USG pada bidang oftalmologi sudah menjadi kegiatan rutin dalam praktek klinis sehari-hari. Ukuran, bentuk, dan posisi normal atau abnormal jaringan mata dapat ditentukan sesuai dengan teknik yang digunakan pada ultrasonografi. Gambaran dua dimensi dari jaringan dapat

dievaluasi dengan menggunakan *B scan*. *USG A scan* standard menghasilkan gambar satu dimensi dengan variasi gelombang/spike yang bervariasi pada tinggi dan lebar sesuai dengan karakteristik echo pada masing-masing jaringan.

USG B scan (brightness scan) merupakan teknik yang penting untuk mengevaluasi struktur intraokular dimana visualisasi terganggu atau tidak memungkinkan oleh karena kelainan palpebra, kekeruhan kornea, kekeruhan segmen anterior (seperti, hifema, hipopion, miosis, membrane pada pupil, katarak), kekeruhan vitreus (seperti, perdarahan, debris inflamasi), lesi extraokular/orbita. Alat ini menggunakan frekuensi suara tinggi (10-20 MHz). *Doppler ultrasonography* dapat menyediakan informasi spesifik mengenai keadaan pembuluh darah.

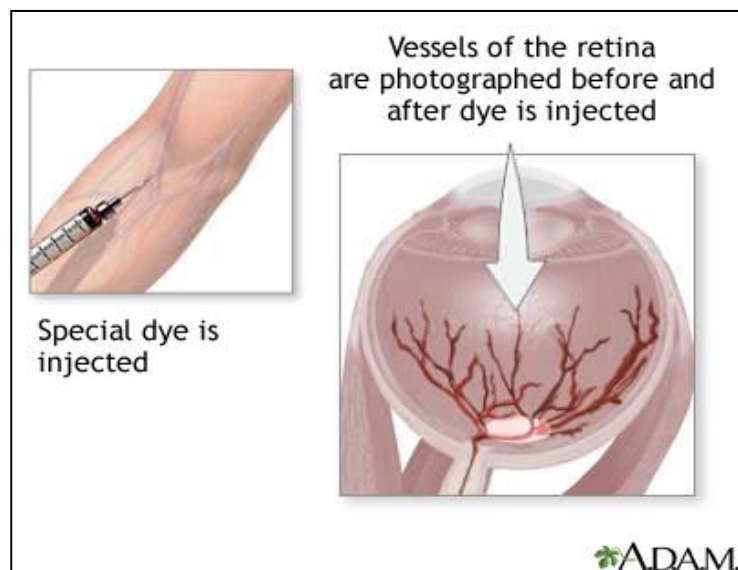
Dengan memahami prinsip ultrasonografi dan teknik pemeriksaan dengan menggunakan *USG* maka kita dapat melakukan pemeriksaan *USG* serta menginterpretasi echogram dengan baik sehingga dapat membantu untuk menegakkan diagnosis yang tepat.

II. FUNDUS FLUORESCEIN ANGIOGRAPHY (FFA)

Suryanita Tajuddin, Idayani Panggalo, A.M.Ichsan

Fundus fluorescein angiography (FFA) adalah sebuah teknik pemeriksaan oftalmologi yang digunakan untuk mendiagnosis kelainan pada lapisan korioretinal, dengan menampilkan gambaran anatomi pembuluh darah di retina setelah injeksi kontras *fluorescein* secara intravena. FFA digunakan untuk mengevaluasi kelainan pada retina dengan menggambarkan daerah pembuluh darah yang abnormal, dan menunjukkan defek seperti pada koroid neovaskularisasi, atau proliferasi diabetik retinopati, dan dapat digunakan untuk merencanakan terapi laser pada lesi di vaskular retina.²⁹

Penggunaan fluorescein awalnya digunakan oleh Edward Muumenee (ketua *Wilmer Eye Institute*) yang pada tahun 1955 menemukan bahwa injeksi zat fluorescein secara intravena dapat memberi gambaran berbeda pada *choroidal melanoma* dan hemangioma. Pada Januari 1960, Novotny dan Alvis melakukan angiogram fluorescein pertama pada manusia dan mengembangkan sistem fotografik dasar yang dibutuhkan untuk dokumentasi aliran *fluorescein* pada fundus.²⁹

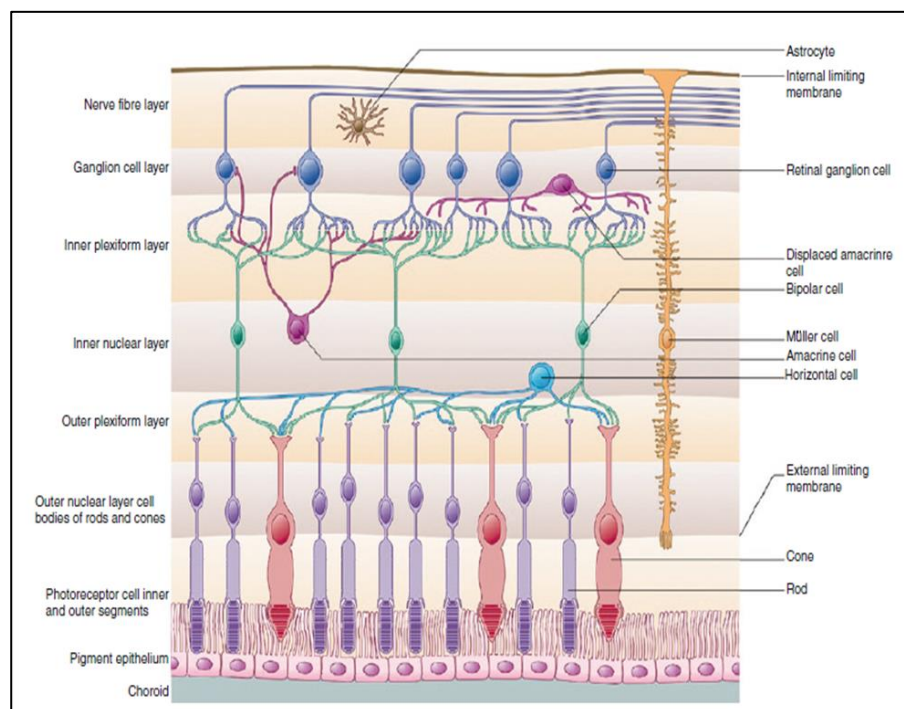


Gambar 98. Skema fundus fluorescein angiografi (FFA).

Sejak 25 tahun terakhir, telah dikenal pemeriksaan *optical coherence tomography* (OCT) sebagai sebuah pemeriksaan non-invasif untuk memeriksa struktur anatomi dari macula dan papil nervus optik. Pemeriksaan ini mulai dikenal sejak tahun 1990-an dan mulai digunakan pada awal tahun 2000-an, namun pada tahun 2005 baru umum dikenal *OCT fourier dominan* atau *spectral dominan*, yang menampilkan peningkatan besar dalam resolusi gambar karena kecepatan pemindaian yang lebih tinggi ditambah dengan teknologi koreksi gerakan mata.³⁰

Saat ini pemeriksaan klinik retina didasari oleh pemeriksaan fisik (fundus), gambaran OCT untuk memeriksa struktur anatomi dari macula, pemeriksaan fluorescein angiografi untuk mengevaluasi vaskularisasi retina dan mengidentifikasi area kebocoran maupun pewarnaan, dan pemeriksaan *indocyanin green* yang bagus untuk menilai sirkulasi koroidal paling dalam.³⁰

ANATOMI DAN VASKULARISASI RETINA



Gambar 99. Skema lapisan anatomi retina.

Setiap lapisan retina harus diketahui dengan baik agar dapat memahami histopatologi, terdapat enam lapisan yang penting dalam menginterpretasi fluoresein fundus abnormal³⁴, yaitu:

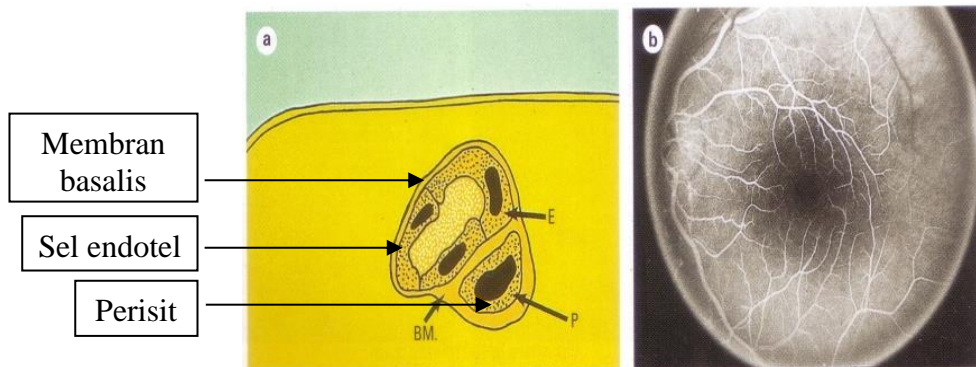
- 1) Daerah preretinal, dimana kontraksi membran epiretinal dapat mempengaruhi sirkulasi retina dan daerah dimana perdarahan dapat menetap.
- 2) Lapisan vaskuler dari sensori retina baik superfisial maupun profunda.
- 3) Bagian avaskuler dari sensori retina, khususnya lapisan plexiform luar adalah tempat yang paling utama untuk eksudat dan udem intraretinal.
- 4) Epitel pigmen retina (RPE) yang potensial untuk kebanyakan manifestasi, meliputi proliferasi, depigmentasi, hiperpigmentasi dan ablasio.
- 5) Sirkulasi koroid meliputi khoriokapillaris dan pembuluh darah besar koroid.
- 6) Sklera yang terletak di bawah koroid.

Pada pemeriksaan OCTA, area retina dibagi menjadi 4 bagian histologi penting yang akan dinilai.³⁰

- 1) Lapisan retina dalam (*inner retina*), mulai dari 3 μ m dibawah lapisan membrane limitan interna hingga 15 μ m di bawah lapisan pleksiform dalam.
- 2) Lapisan retina tengah (*middle retina*), mulai 15 μ m di bawah lapisan pleksiform dalam hingga 70 μ m di bawah lapisan pleksiform dalam.
- 3) Lapisan retina luar (*outer retina*), mulai dari 70 μ m di bawah lapisan pleksiform dalam hingga 30 μ m di bawah lapisan epitel pigmen retina (RPE).
- 4) Lapisan Koriokapillaris, mulai dari 30 μ m di bawah lapisan RPE hingga 60 μ m di bawah lapisan RPE.

a. Lapisan neurosensoral

Lapisan sensori retina dibagi menjadi 2 lapis yaitu setengah lapisan bagian dalam adalah lapisan vaskuler dan setengah bagian luar adalah lapisan avaskuler. Lapisan vaskular dimulai dari lapisan membrana limitans interna sampai ke lapisan nuklear dalam, dimana arteri dan vena retina yang lebih besar terletak di dalam lapisan serabut saraf sedangkan kapiler retina terletak di lapisan nuklear dalam, kedua lapisan vaskuler ini dapat dilihat secara jelas keberadaannya di dalam retina pada sebuah angiogram *fluorescein* dengan kualitas baik. Konsep angiografi fluorescein yang sangat penting bahwa pembuluh darah retina normal tidak permeabel atau tidak dapat dilewati oleh fluorescein, ini dikarenakan adanya perisit pada endotel pembuluh darah retina yang berfungsi sebagai *inner blood-retinal barrier* untuk menahan terjadinya kebocoran fluorescein, jadi aliran fluorescein yang melintas di dalam pembuluh darah retina tidak akan keluar atau bocor ke dalam retina.^{34,38}

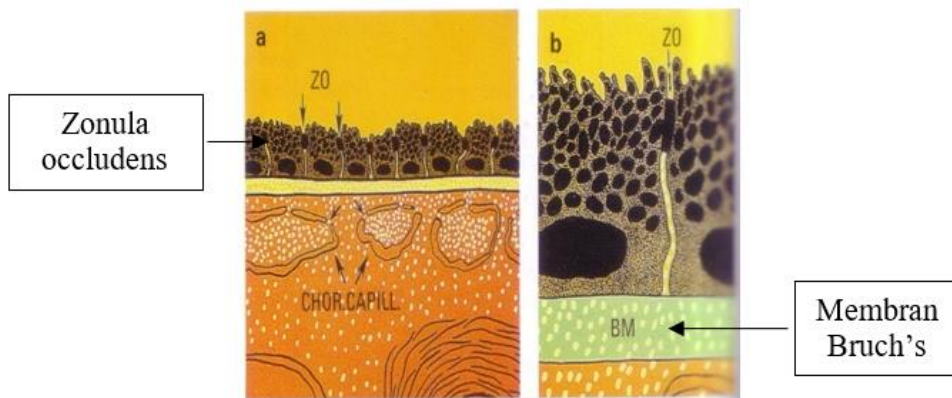


Gambar 100. Blood retinal barrier.

Inner blood-retinal barrier dan *fluorescein* angiografik yang menunjukkan tidak adanya kebocoran.

Lapisan avaskular dari sensori retina meliputi lapisan plexiform luar, lapisan nuklear luar dan lapisan foto reseptor (sel rod dan cones). Lapisan plexiform luar adalah ruang intersisial dalam retina yang akan terisi cairan ketika retina mengalami udem, perdarahan dan eksudat (endapan lipid). Berkumpulnya darah atau cairan di dalam lapisan ini akan menyebabkan timbulnya ruang cystoid.^{34,38}

Lapisan fotoreseptor sel batang dan kerucut melekat sangat lemah ke epitel pigmen retina khususnya pada daerah makula, sebaliknya antara epitel pigmen retina (RPE) dengan *membrana Bruch's* terjadi perlekatan yang sangat kuat. Di dalam interpretasi angiografik fluoresein, lapisan epitel pigmen retina adalah jaringan yang sangat penting karena berperan sebagai *outer blood-retinal barrier*, dimana lapisan ini mempunyai *tight junction* yang dapat mencegah kebocoran *fluorescein* koroid.^{34,37}



Gambar 101. Outer Blood-Retinal Barrier.

b. Membrana Bruch's

Membrana bruch's adalah sebuah lapisan yang memisahkan epitel pigmen dari lapisan koriokapilaris. Koriokapilaris bersifat permeabel untuk fluoresein, dimana fluoresein dapat lewat secara bebas pada khoriokapilaris dan difusi melalui *membrana bruch's* tetapi tidak dapat masuk ke dalam lapisan epitel pigmen. Selanjutnya pada bagian bawah khoriokapilaris terdapat pembuluh koroid besar yang bersifat permeabel untuk fluoresein serta di antara koroid dan sklera terdapat lamina fuska, sebagai lapisan tipis yang banyak mengandung melanosit.^{34,38}

c. Fovea

Fovea adalah pusat dari makula yang hanya terdiri dari empat lapisan retina: membrana limitans interna, lapisan plexiform luar, lapisan nuklear luar serta lapisan sel foto reseptor. Pada fovea, tidak ada lapisan intermediate diantara membrana limitans interna dan lapisan plexiform

luar yang merupakan faktor penting untuk memahami gambaran “*stellate*” dari udem cystoid pada makula yang memberi gambaran berbeda untuk gambaran “*honeycomb*” dari udem cystoid di luar makula.^{34,35}

Sel RPE di dalam makula bersifat kolumnar serta lebih banyak mengandung konsentrasi melanin dan granula lipofuscin dibandingkan area lain pada lapisan retina. Xanthophyl juga ditemukan pada fovea, tepatnya pada lapisan plexiform luar. Perbedaan pigmentasi ini merupakan faktor utama penyebab timbulnya daerah gelap di daerah makula pada angiogram yang normal selain tidak tampaknya pembuluh darah retina di dalam fovea yang diameternya \pm 400-500nm pada sentral fovea.^{34,35}

d. Vaskularisasi Retina

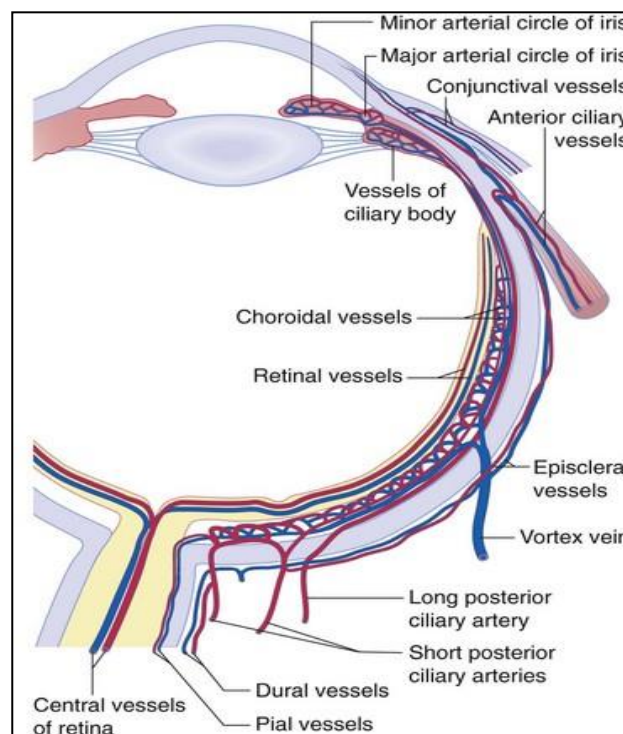
Arteri oftalmika dalam orbita membentuk percabangan dua arteri siliaris posterior yaitu *arteri siliaris longus* dan *arteri siliaris brevis*, dimana kedua arteri ini menyuplai daerah lateral dan medial diskus optik serta koroid. Saat pemeriksaan angiografi, daerah vertikal mengalami pengisian yang agak lambat, hal ini dapat dilihat melalui daerah papilomakular diskus optik. Adakalanya terdapat sebuah orientasi oblik untuk suplainya atau bahkan sebuah distribusi superoinferior, batas antara arteri siliaris posterior, diistilahkan dengan *watershed zone* dimana gambaran *patchy choroid filling* dapat dilihat pada angiogram fluorescein.³⁴

Arteri siliaris posterior brevis menyuplai segmen koroid pada sisi temporal dan arteri siliaris posterior longus lewat secara oblik melalui sklera untuk menyuplai koroid pada bagian temporal makula dan vaskularisasi dari iris.³⁴

Koriokapillaris dibentuk oleh jaringan organ yang disebut lobulus dengan pusat dari setiap lobulus disuplai oleh sebuah arteriol prekapiler yang berasal dari arteri siliaris posterior brevis, diperkirakan ukurannya seperempat sampai setengah dari diameter diskus optik. Lobulus ini

dianggap sebagai daerah angiografi dengan pengisian lambat atau pengisian koroid yang dalam penyaluran fluoresein berlangsung secara bertahap dari satu lobulus ke lobulus yang lain. Dalam keadaan tidak normal seperti penyumbatan vaskuler koroid, ada hubungan bebas aliran darah antara daerah koroid yang mempunyai perfusi baik dengan daerah yang tersumbat.³⁴

Arteri retina sentral merupakan percabangan dari arteri oftalmik yang memiliki posisi anatomi berdekatan dengan arteri siliaris posterior. Sekitar 45% populasi memiliki arteri retina sentral dan arteri siliaris posterior yang dipercabangkan dari cabang yang sama dan sekitar 12% arteri retina sentral berasal dari arteri siliaris. Dengan adanya hal tersebut kemungkinan untuk terjadinya infark koroid, anterior optik iskemik neuropati dan penyumbatan arteri retina sentral akibat penyumbatan pada satu tempat tidak mungkin terjadi.³⁴



Gambar 102. Vaskularisasi Orbita.

Arteri retina sentral merupakan sumber utama suplai darah untuk nervus optik bagian anterior. Di dalam intraneural, cabang sentrifugal dari arteri retina sentral muncul dan biasanya berakhir di belakang *lamina cribrosa*.

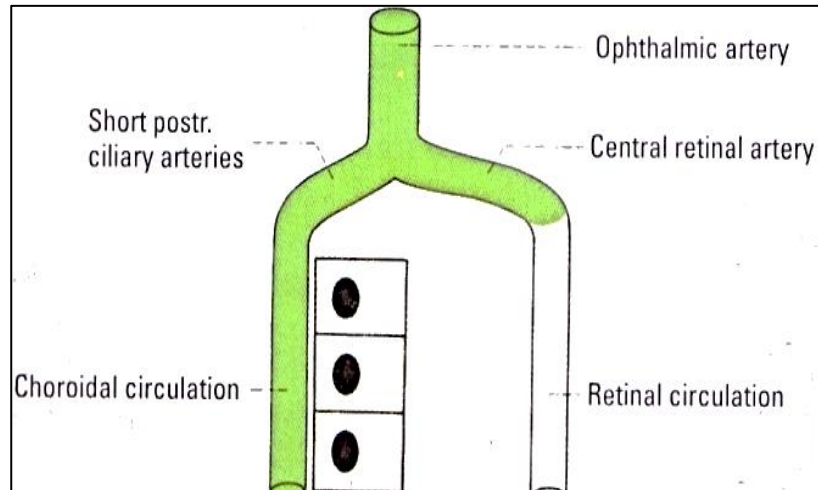
Setiap segmen dari disk disuplai oleh arteri cilioretinal, sedangkan lapisan serabut saraf disuplai cabang arteriol retina yang terdapat pada daerah peripapilar. Pada daerah disk, arteriole muncul sebagai kapiler papilari radial dengan gambaran pembuluh darah yang lurus dan panjang dengan sedikit anastomosis yang berada di superficial pada lapisan serabut saraf peripapillari, selanjutnya kapiler dari disk akan berhubungan dengan kapiler peripapillari retina.³⁴

Nervus optik bagian laminar disuplai oleh arteri siliaris posterior brevis atau cabang rekuren dari peripapillaris koroid, sedangkan nervus optik bagian lamina cribrosa disuplai oleh cabang sentripetal dari arteri siliaris posterior brevis, pada daerah ini terkadang ditemukan *zinn vaskuler circle*, sedangkan untuk bagian prelaminar disuplai oleh cabang sentripetal dari peripapillaris koroid. Disk paling banyak mendapat suplai darah dari aliran siliaris, inilah yang menyebabkan fluoresein akan tampak terlebih dahulu pada papil nervus optik dan koroid sebelum tampak di arteri retina.³⁴

Aliran vena dari bagian prelaminar disk terutama mengalir ke vena retina sentral, dimana papiler koroid akan memberikan hubungan kolateral jika terjadi penyumbatan pada vena retina sentral di belakang lamina cribrosa, hubungan kolateral ini sering disebut dengan vena retinosiliar.³⁴

A. PENILAIAN FLUORESCEIN ANGIOGRAFI

Fluorescein masuk ke mata melalui arteri oftalmik, kemudian ke koroid melalui arteri siliaris posterior brevis dan ke retina melalui arteri retina sentral, dimana waktu yang diperlukan fluoresein untuk melewati vaskuler koroid dan retina adalah 30 detik setelah penyuntikan, karena perjalanan sirkulasi retina agak lebih panjang dari pada koroid sehingga pengisian retina terlambat 1 detik. Angiogram terdiri dari beberapa fase sebagai berikut^{34,38-41}:



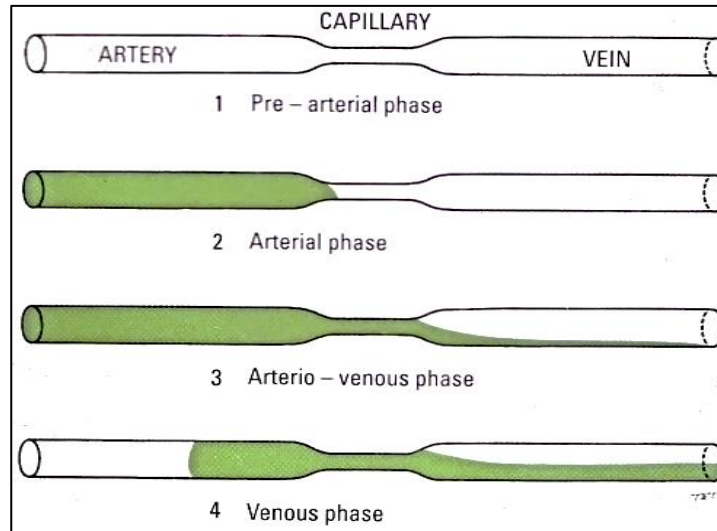
Gambar 103. Masuknya fluoresein ke sirkulasi retina dan koroid.

1. Fase Koroidal

Fluoresein akan mulai tampak di koroid sekitar 8-12 detik setelah injeksi fluoresein pada orang muda, 12-15 detik pada orang tua (dewasa) dan kurang dari 8 detik pada anak-anak, waktu yang diperlukan untuk sampai pada mata tergantung pada cardiac output, viskositas darah dan kaliber pembuluh darah.

Pada tahap awal gambaran fluoresensi pada koroid akan terlihat samar-samar berupa tambalan-tambalan fluoresein dan ireguler yang tersebar pada fundus posterior dan diselingi dengan gambaran pulau yang tersebar pada pengisian fluoresein yang tertunda, tahap awal ini disebut sebagai *choroidal flush* dan ketika daerah pengisian koroid dan yang tidak terisi sangat nyata terlihat, gambaran ini disebut *patchy choroidal filling*.

Setelah 10 detik berikutnya (sekitar 20-25 detik setelah injeksi), angiogram menjadi lebih terang selama 5 detik disebabkan *fluorescein* koroid yang hebat. Fluoresensi koroid tidak akan tampak pada makula dikarenakan konsentrasi epitel pigmen retina di fovea lebih banyak dan ukurannya lebih besar, oleh karena itu makula akan tampak lebih gelap pada angiogram. Arteri silioretinal biasanya akan tampak gambaran fluoresein sebagai fluoresein koroid.



Gambar 104. Empat fase pada angiogram fluoresein.

2. Fase arterial

Fase arterial berlangsung selama 2 detik dimana fase ini terjadi setelah fase koroidal, fase ini pada angiogram ditandai dengan adanya pengisian arteri retina dan tetap berlangsungnya pengisian koroid. Kurang padatnya konsentrasi pigmen di epitel pigmen retina akan memberikan waktu yang lebih lama antara terlihatnya fluoresensi koroid dan pengisian pembuluh darah retina, sebaliknya dengan lebih padatnya pigmen dari epitel pigmen retina akan menyebabkan *blockage-barrier effect* yang lebih besar sehingga fluoresensi koroid akan tampak sedikit lebih lambat karena diperlukannya konsentrasi fluoresein yang lebih besar untuk mengatasi besarnya efek penahan akibat peningkatan kepadatan epitel pigmen.

3. Fase arteriovenous

Fase arteriovenous terjadi setelah arteri retina sentral mulai mengisi, fase ini berlangsung selama 5 detik, atau 1 menit setelah injeksi zat fluoresein dimana fluoresein akan mengalir ke arteri retina kemudian masuk ke arterioli prekapiler, kapiler, venula postkapiler dan berakhir di vena retina. Fase ini dimulai pada saat arteri retina dan kapiler terisi sempurna disertai *laminar filling* dari vena retina.

Pengisian koroid terus berlanjut dengan latar dari fluoresensi koroid terus meningkat hingga keluarnya fluorescein dari koriokapillaris ke ruang ekstrasvaskuler. Pada mata yang hipopigmentasi, ini dapat ditandai dengan suramnya kapiler retina, sedangkan pada mata dengan pigmentasi yang tinggi, latar fluoresensi koroid akan kurang nyata.

4. Fase venous

Kemudian dalam waktu 5 sampai 10 detik, fluoresensi dari dua lapisan paralel sepanjang dinding vena retina akan menjadi lebih tebal. Lapisan dari setiap vena akan menyatu pada daerah gabungan antara dua vena dan akan membentuk 3 lapisan fluoresensi, satu pada bagian tengah dan satu pada setiap sisi dari vena. Sebagaimana pengisian *fluorescein* meningkat dalam vena, akhirnya lapisan menjadi lebih besar dan bersatu menghasilkan fluoresensi yang lengkap di dalam vena retina, fase ini berlangsung selama 30 detik. Fase venous dapat dibagi menjadi 3 fase yaitu:

- a. Fase awal ditunjukkan dengan lengkapnya pengisian arteri dan kapiler retina serta ditandai dengan adanya lapisan aliran vena.
- b. Fase pertengahan ditunjukkan dengan hampir lengkapnya pengisian vena.
- c. Fase akhir, pengisian vena telah lengkap dengan penurunan konsentrasi *fluorescein* di dalam arteri.

5. Fase akhir

Fase ini memperlihatkan pengaruh dari resirkulasi yang berlangsung terus-menerus, mengakibatkan pencairan dan pengeluaran fluorescein. Dengan terjadinya proses tersebut secara berurutan akan menyebabkan intensitas fluoresensi menjadi lemah dan pada fase ini dapat ditemukan *staining* pada disk dimana hal tersebut merupakan suatu yang normal ditemukan. Fluorescein akan

kosong pada angiogram setelah 5-10 menit yang biasanya dikeluarkan secara total dari tubuh dalam waktu beberapa jam.

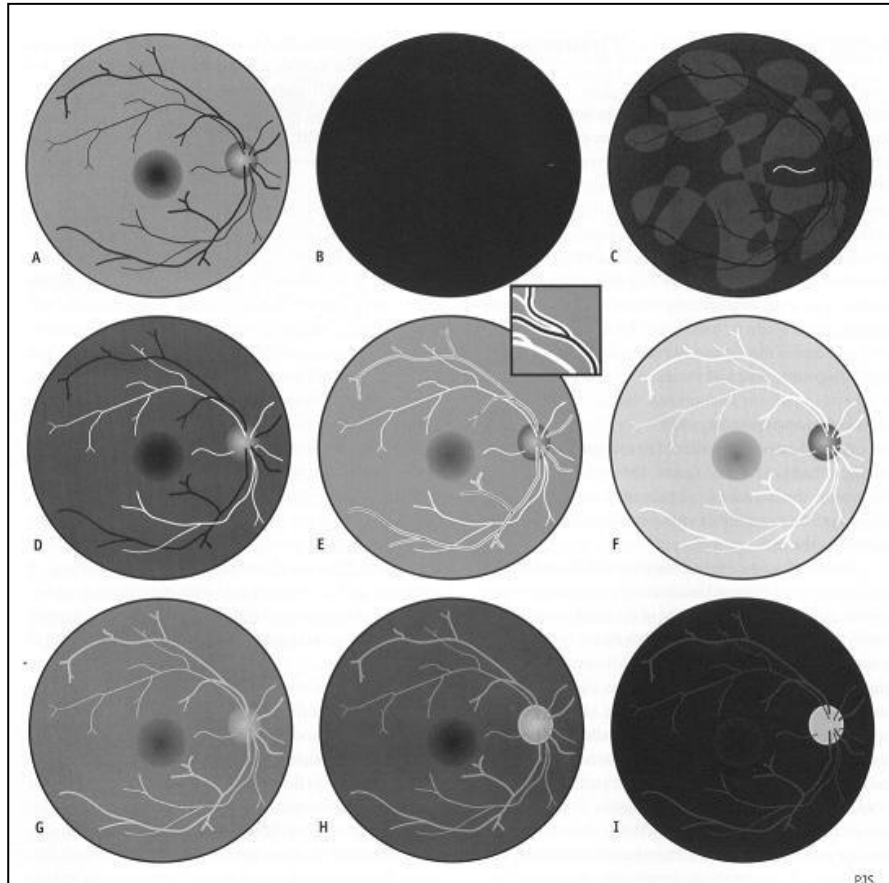
Fluorescein angiografi adalah sebuah tindakan invasif yang menggunakan pewarna kontra melalui intravena dan pengambilan gambar dilakukan membutuhkan waktu selama 10-30 menit. Hasil pemeriksaan ini ditampilkan dalam gambaran 2-dimensi yang mampu menampilkan gambaran yang dinamis aliran darah dalam sebuah bidang lapang pandang yang luas. Oleh karena itu, pola pewarnaan tentang kebocoran, penggumpalan, dan pewarnaan dapat terdokumentasikan dengan baik.^{31,32}

Fluorescein angiografi merupakan pemeriksaan utama untuk mendeteksi neovaskularisasi koroidal (CNV), neovaskularisasi retina, neovaskularisasi pada diskus optik (NVD), serta neovaskularisasi pada daerah lain dalam retina. Namun, kelainan patologik dari retina dapat tersamarkan oleh kebocoran yang diakibatkan oleh perdarahan atau kekeruhan media refrakta.^{31,32}

Penggambaran lokasi pada daerah profunda tampilan lesi dan ukuran dari neovaskularisasi sulit untuk ditentukan disebabkan oleh kebocoran kontras dan stereopsis yang kurang, serta modalitas gambar tidak ditampilkan secara mendalam. Dalam hal ini, pengambilan gambar segmental setiap lapisan tidak mungkin dilakukan pada pemeriksaan FFA.³²

B. KELEMAHAN TEKNIK PEMERIKSAAN FFA

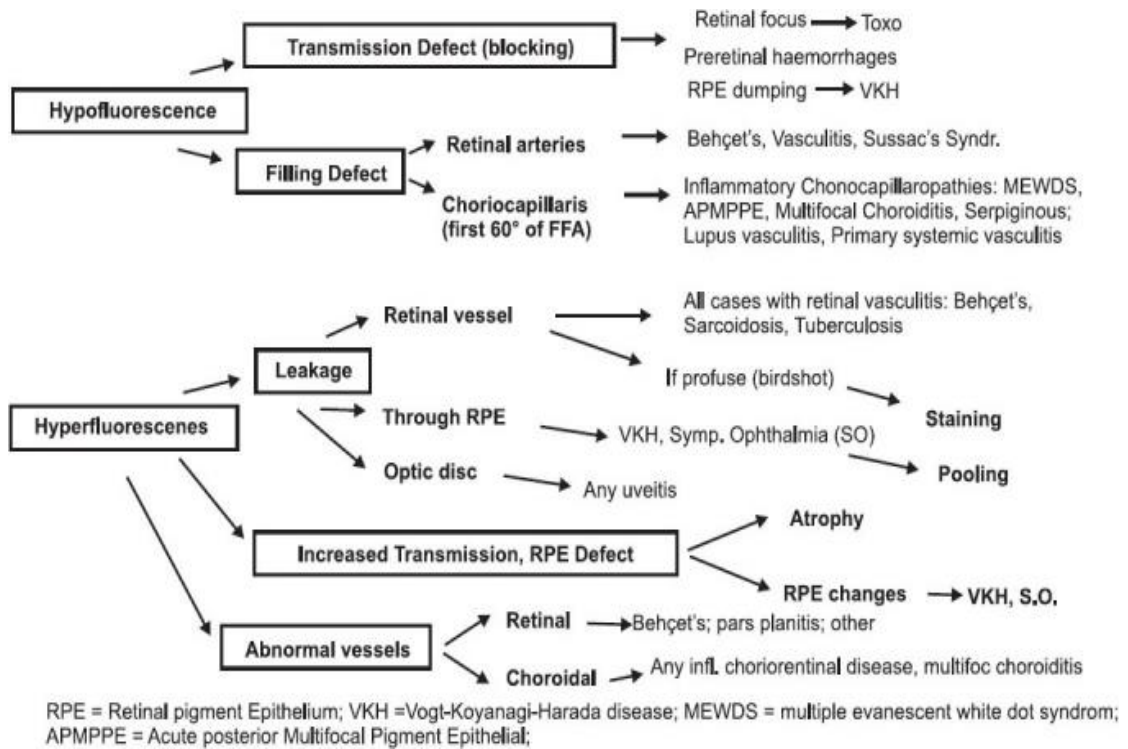
FFA juga memiliki kekurangan lain yang membatasi penggunaannya. Pemeriksaan ini bersifat invasif, relatif mahal dan membutuhkan banyak waktu. Meskipun dianggap aman, zat pewarna kontras dapat memberikan resiko mual sebagai respon alergi, seperti reaksi anafilaksis pada sebagian kasus. Selain dari kemungkinan alergi yang mungkin meningkat dengan frekuensi paparan penggunaan zat kontras, kontraindikasi pemeriksaan ini adalah ibu hamil dan pasien dengan penderita gangguan fungsi ginjal.³¹



Gambar 105. Gambaran fase normal FFA.

Karakteristik fase dalam FFA normal. Foto filter hijau (red-free) mendokumentasikan penampilan ophthalmoscopic klinis retina. A dan B mewakili foto preinjection; C-E adalah transit (awal) fase angiogram; dan F-I adalah resirkulasi ("mid" dan "akhir") fase. A. (preinjection) Dengan pemicu dan penghalang di tempat, foto kontrol hitam yang kosong dapat memperlihatkan ada atau tidak adanya auto dan pseudofluorescence. B. (0 detik setelah injeksi) Tahap transit dimulai dengan mengisi koroid. C. (10 detik) Digambarkan sebagai tambal sulam, fase transit adalah simultan dengan mengisi arteri cilio-retina. D. (12 detik) Arteri retina diresapi. E. (15 detik) Pewarna kembali melalui vena retina. Perhatikan aliran laminar selama fase arteri (inset). F. (sekitar 30 detik) di sini angiogram yang paling terang dan microvasculature paling terlihat. G-I. (5 - 10 menit) ketika pewarna fluorescein berdifusi melalui jaringan, kontras menurun dan papil saraf optik terwarnai.

Untuk evaluasi pasien yang membutuhkan follow up pemeriksaan yang sering atau yang tidak bisa mentoleransi pemakaian zat warna intravena, dapat disarankan teknik pemeriksaan non-invasif untuk melihat pembuluh darah retina dan koroid.³²



Gambar 106. Ringkasan Interpretasi FFA.

KESIMPULAN

Fundus fluorescein angiography (FFA) merupakan pemeriksaan diagnostik yang dilakukan untuk beragam kelainan retina dan koroid dengan menggunakan zat kontras yang disuntikkan pada pembuluh darah. Pemeriksaan ini dilakukan dengan memperhatikan aliran kontras melalui alat foto fundus, yang dinilai dalam jangka waktu tertentu. Fundus angiography merupakan suatu pemeriksaan untuk mendeteksi adanya neovaskularisasi koroidal, neovaskularisasi retina, diskus optik neovaskularisasi, serta neovaskularisasi di sekitarnya.

III. OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY

Dyah Ayu Windy, Budu, A.M.Ichsan

Optical coherence tomography (OCT) merupakan alat non-invasif, berupa teknik fotografi non-kontak yang menghasilkan gambar dengan resolusi tinggi, pencitraan tomografi dari struktur okuler dalam bentuk *cross-sectional* dengan mengukur sinar yang mengalami *back-scattered* atau *back-reflected*. *Optical* berasal dari bahasa Yunani yang berarti penglihatan. *Coherence* berarti dua gelombang yang memiliki panjang dan fase yang sama sedangkan *tomography* berarti bagian. Jenis OCT yang pertama kali adalah *Time Domain OCT* (Stratus Domain) yang diperkenalkan oleh dr.David Huang dan Prof Fujimoto pada tahun 1991. Alat ini hanya memiliki gambaran 2 dimensi sedangkan generasi selanjutnya adalah *Fourier domain OCT* (Spectral Domain) yang diperkenalkan 5 tahun berikutnya memiliki gambaran 3 dimensi.⁴²⁻⁴⁴

Instrumen OCT ini bekerja dengan menggunakan teknik pencitraan cahaya yang direfleksikan ke dalam mata. Kelebihan OCT dengan kamera biasa adalah bahwa OCT dapat menentukan resolusi kedalaman. Resolusi kedalaman OCT sangat tinggi, terutama pada kisaran 0.01 mm atau 0.4/1000 inci. Hasilnya adalah potongan melintang dari struktur jaringan internal yang sama dengan potongan jaringan dibawah mikroskop namun tidak mengganggu jaringan. OCT telah dianggap sebagai metode biopsi jaringan non-invasif. Teknik imaging menyediakan gambar tomografik dan gambar *cross-sectional* dari struktur intraokular sehingga dapat memberikan informasi yang kuat untuk keperluan diagnostik dan sebagai pelengkap informasi yang sudah didapatkan dari foto fundus dan fluorescein angiografi.^{43,44}

A. PRINSIP KERJA OCT

Prinsip kerja OCT yaitu menggunakan suatu sumber cahaya dengan panjang gelombang 800-1400 nm yang berdasarkan pada teori *Michelson interferometer* untuk menghasilkan pengukuran dan gambaran resolusi

tinggi.⁴⁵ Suatu sinar optik dari laser atau sumber cahaya yang memancarkan cahaya koherensi pendek diarahkan tepat pada suatu cermin refleksi (*optical beam splitter*). Cermin refleksi ini membagi cahaya menjadi dua sorotan: satu sorotan cahaya ditransmisikan langsung di mata pasien dan sorotan cahaya lainnya dipantulkan ke *reference mirror*.⁴⁶

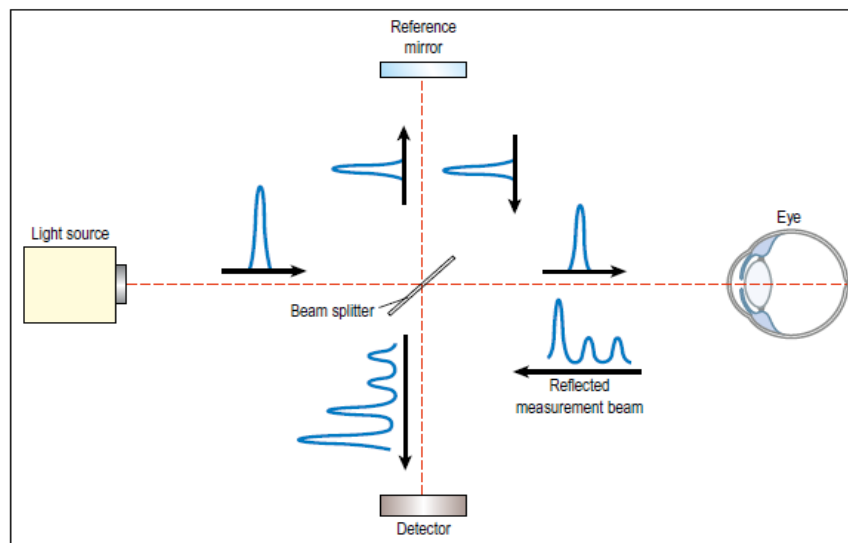
Cahaya yang ditransmisikan ke dalam mata pasien dan menembus jaringan akan dipantulkan kembali dari struktur-struktur intraokuler pada jarak yang berbeda. Cahaya yang dipantulkan dari mata pasien ini terdiri dari sejumlah echo yang memberikan informasi tentang jarak dan ketebalan dari struktur-struktur intraokuler yang berbeda. Cahaya kedua dipantulkan dari suatu *reference mirror*. Sorotan cahaya optik *retro-reflected* ini berjalan kembali ke cermin refleksi (*optical beam splitter*) kemudian akan bergabung dengan cahaya yang dipantulkan dari mata pasien.⁴⁴

Jarak antara cermin refleksi (*optical beam splitter*) dan *reference mirror* bervariasi secara berkesinambungan. Ketika jarak antara sumber cahaya dan jaringan sama dengan jarak antara sumber cahaya dan *reference mirror*, cahaya yang dipantulkan dari jaringan dan *reference mirror* saling berinteraksi membentuk suatu pola interferensi. Pola interferensi ini akan dideteksi dan diproses menjadi sinyal yang beranalog seperti pada ultasonografi scan A akan tetapi menggunakan cahaya sebagai sumbernya.⁴²

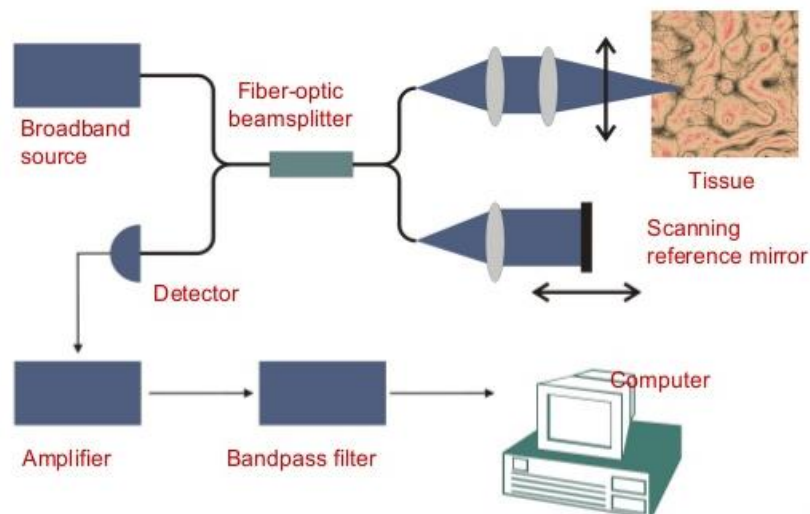
Suatu gambaran dua dimensi terbentuk saat sumber cahaya bergerak di sepanjang jaringan. Gambaran ini dalam bentuk suatu rangkaian gambaran *A-scan* yang ditumpuk dan disejajarkan, membentuk suatu gambaran jaringan dua dimensi yang *cross-sectional* yang menyerupai gambaran histologi. Oleh karena itu metode ini disebut sebagai suatu bentuk *in vivo histology*.⁴²

Alat yang digunakan untuk imaging segmen anterior dan posterior prinsipnya sama dengan slitlamp biomikroskop dan kamera fundus. Alat ini memungkinkan operator untuk melihat bagian dari segmen anterior

ataupun posterior dalam bentuk gambar tomografi langsung melalui okular ataupun menggunakan kamera video.^{49,50}



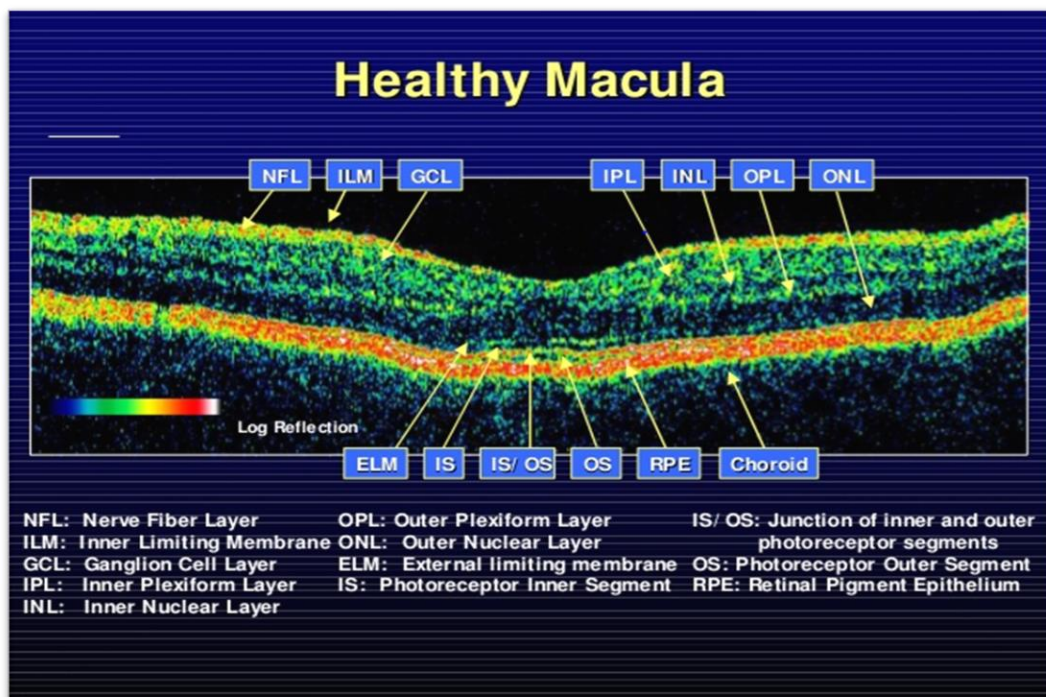
Gambar 107. Prinsip kerja OCT untuk pemeriksaan mata.



Gambar 108. Diagram skematik dari sistem OCT untuk pemeriksaan mata.

OCT ini dianalogikan seperti USG *B scan* dimana USG *B scan* menggunakan gelombang suara sedangkan OCT menggunakan gelombang cahaya. Cahaya difokuskan ke retina oleh lensa yang memiliki kekuatan 60-90 D. Pola interferensi gelombang yang dihasilkan oleh superposisi gelombang dari cermin rujukan dan gelombang cahaya dari retina akan diterjemahkan oleh komputer menjadi suatu pencitraan dengan simbol

warna. Warna merah dan putih untuk jaringan yang mudah memantulkan cahaya (*high reflectivity*) seperti serabut saraf retina, Retinal Pigmen Epitelium (RPE) dan koriokapiler. Warna biru dan hijau untuk yang kurang memantulkan cahaya (*low reflectivity*) seperti fotoreseptor retina dan warna hitam untuk jaringan yang sangat kurang memantulkan cahaya (*very low reflectivity*) seperti jaringan koroid.⁴⁴



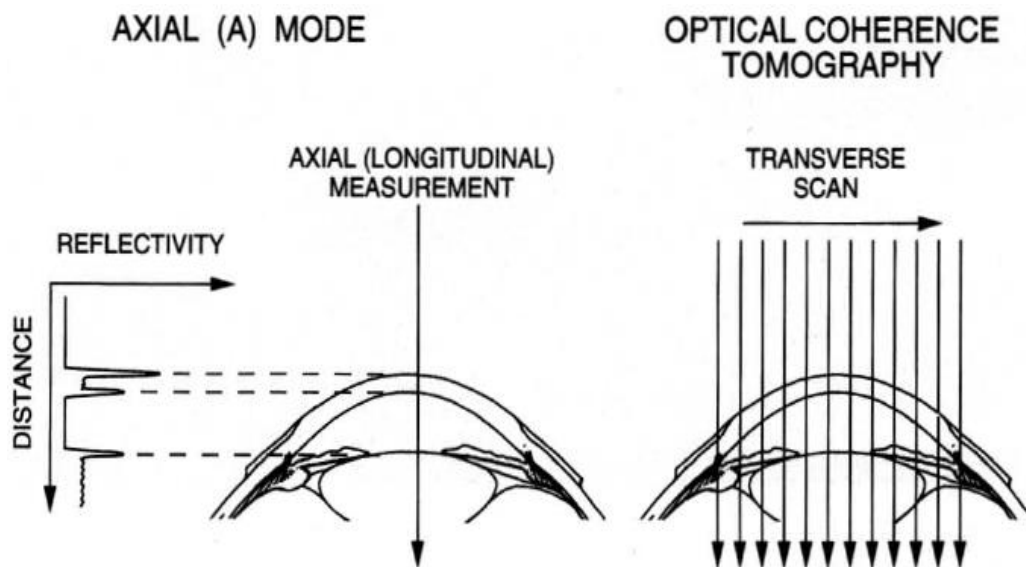
Gambar 109. Perbedaan warna pada gambar OCT. Perbedaan warna pada gambar OCT yang menunjukkan perbedaan reflektivitas dari jaringan tersebut.

B. RESOLUSI GAMBAR

Resolusi gambar OCT bergantung pada beberapa faktor. Resolusi tersebut dapat berada pada bidang Z (aksial) atau bidang X-Y (transversal). Resolusi aksial bergantung pada panjang gelombang dan *bandwidth* dari cahaya. Cahaya dengan panjang gelombang pendek, sekitar 800 nm, tidak akan terabsorpsi sebanyak cahaya dengan panjang gelombang yang lebih panjang oleh struktur mata yang mengandung air seperti kornea dan vitreus. Cahaya dengan panjang gelombang yang panjang dapat memberikan penetrasi yang adekuat ke retina dan resolusi

aksial yang sempurna. Oleh karena itu, cahaya dengan *bandwidth spectral* yang luas dapat meningkatkan resolusi aksial dengan memproduksi suatu sorotan cahaya koherensi rendah. Jenis *OCT Stratus* memiliki resolusi aksial <10 mikron.⁵⁰⁻⁵²

Resolusi transversal tidak bergantung pada panjang gelombang. Resolusi transversal memiliki 20-50 mikron dan tergantung pada lokasi pencitraan yang dilakukan di retina atau segman anterior bola mata. Gambaran tomografik dibentuk dengan melakukan pengukuran aksial yang cepat dan tepat pada beberapa titik-titik transversal. Dengan melakukan *scanning* secara transversal selagi melakukan pengukuran aksial, suatu set data dua dimensi dapat diukur sebagai suatu peta *cross-sectional* dari refleksi dan *backscatter* dalam jaringan.⁵⁰⁻⁵²



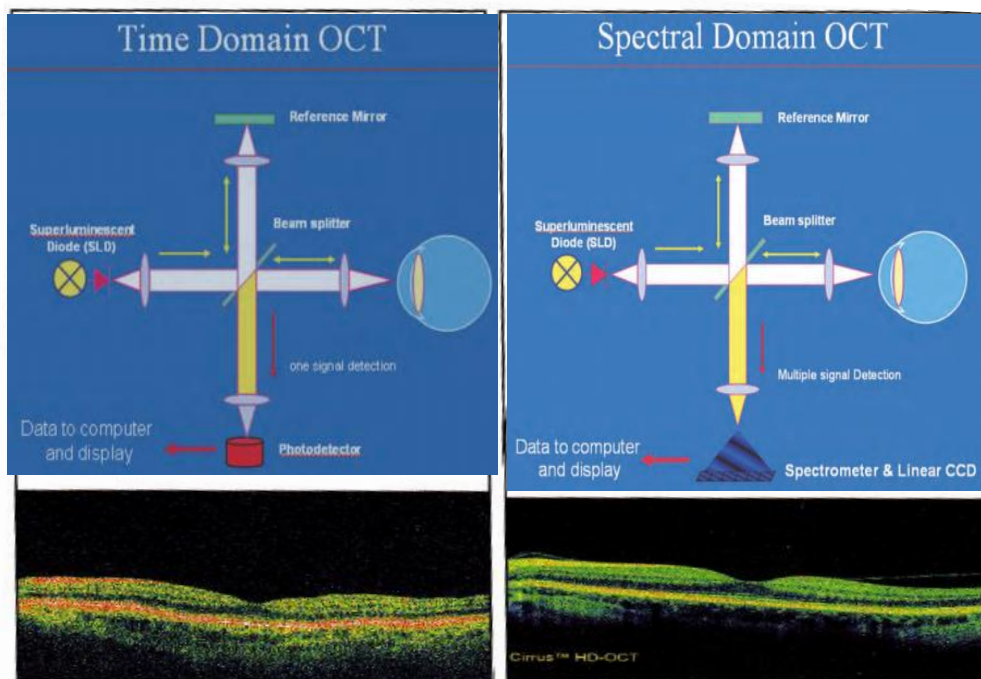
Gambar 110. Pengukuran gambar menggunakan OCT.

C. Jenis Optical Coherence Tomography

OCT menjadi sangat populer pada tahun 2002 sejak stratus OCT dirilis, yaitu OCT yang menggunakan teknologi *time-domain OCT* (TD-OCT). Empat tahun setelahnya, beberapa perusahaan mulai merilis teknologi yang lebih maju, antara lain *spectral-domain OCT* (SD-OCT), yang juga dikenal sebagai *fourier-domain OCT*, yang lebih canggih

dibandingkan TD-OCT dengan kemampuan pencitraan yang lebih cepat serta resolusi gambar yang lebih baik, yaitu sekitar 5 μm .

Pada prinsipnya perbedaan 3D-OCT (SD-OCT) dan 2D-OCT (TD-OCT) adalah cara mengemisi sinar untuk mendeteksi lapisan-lapisan dalam retina. Pada 2D OCT terdapat *reference arm* yang bergerak terus mendeteksi lapisan retina sedangkan pada 3D OCT tidak ada melainkan *spectrum*. Alat OCT 2D dapat melakukan scan hingga 400 A-scan per detik menggunakan 6 potongan radial dengan jarak 30 derajat dan tingkat akurasi 10-15 mikron. Oleh karena jarak per potongan 30 derajat, maka dalam pengambilannya harus hati-hati agar tidak ada bagian yang hilang di antara potongannya. Sementara, 3D-OCT dapat melakukan scan hingga 20.000 - 40.000 scan tiap detik secara kontinu dalam area 6 mm dan tingkat akurasi resolusi mencapai 3 mikron.



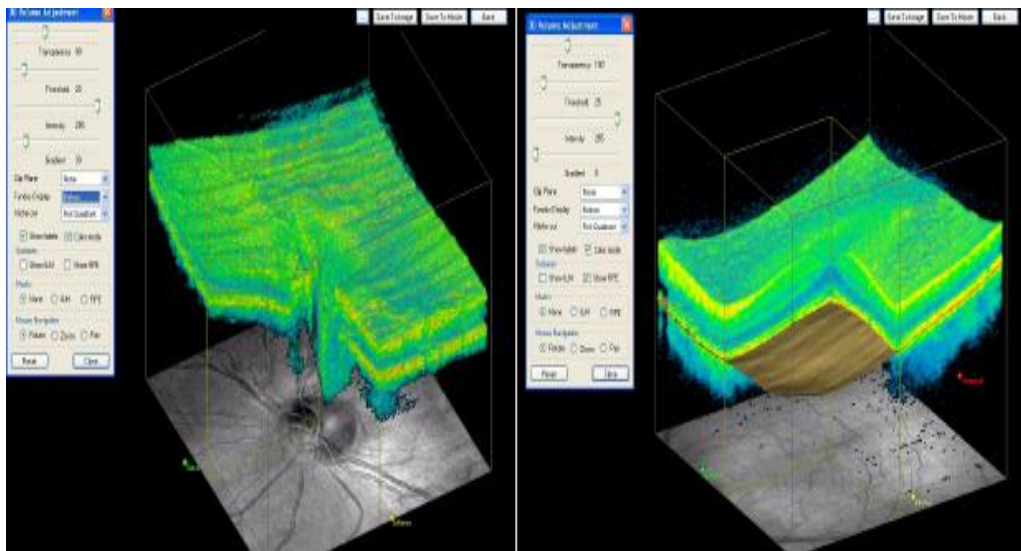
Gambar 2-2. Time Domain OCT
(Courtesy of Zeiss)

Gambar 2-3. Spectral Domain OCT
(Courtesy of Zeiss)

Gambar 111. Perbedaan 2D OCT dan 3D OCT.

Perkembangan SD-OCT telah memungkinkan peningkatan resolusi pencitraan aksial dibandingkan dengan TD-OCT. SD OCT dapat digunakan

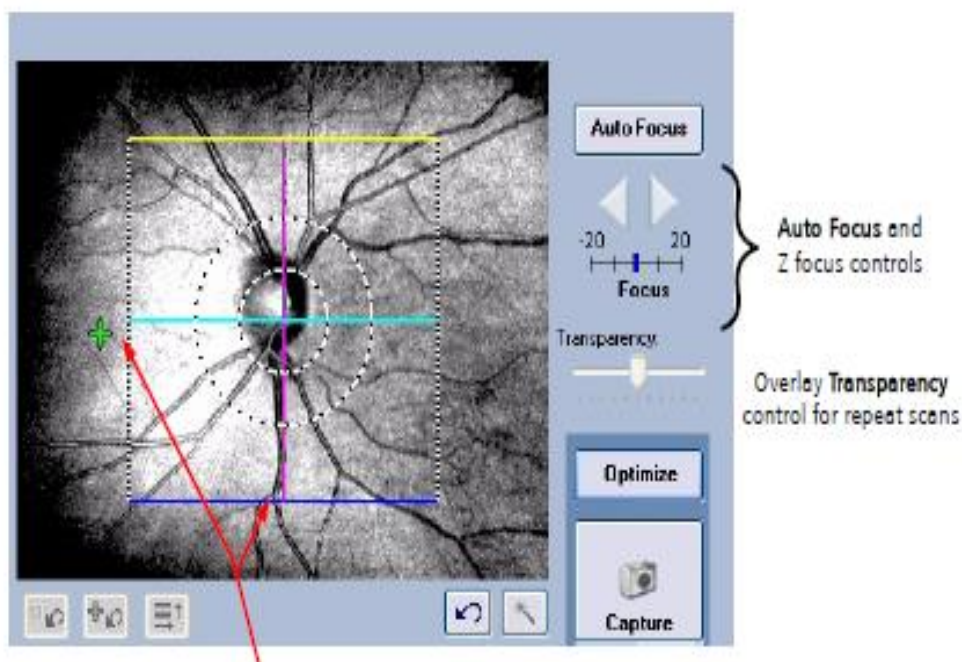
untuk diagnosis dan pemantauan penyakit retina dari waktu ke waktu karena alat tersebut memungkinkan pemeriksaan yang akurat terhadap ketebalan serta volume makula, memiliki *repeatability* dan *reproducibility* yang tinggi. *Software* pada Cirrus 3D OCT menyediakan tiga pilihan utama untuk makula yaitu *3D Volume Rendering*, *Custom 5 line Raster Scan* dan *High Definition Cross Scan*, karena kelebihan tiga hal inilah sehingga dikatakan Cirrus OCT lebih efisien.



Gambar 112. 3D OCT Volume Rendering.



Gambar 113. Custom 5 line Raster Scan.

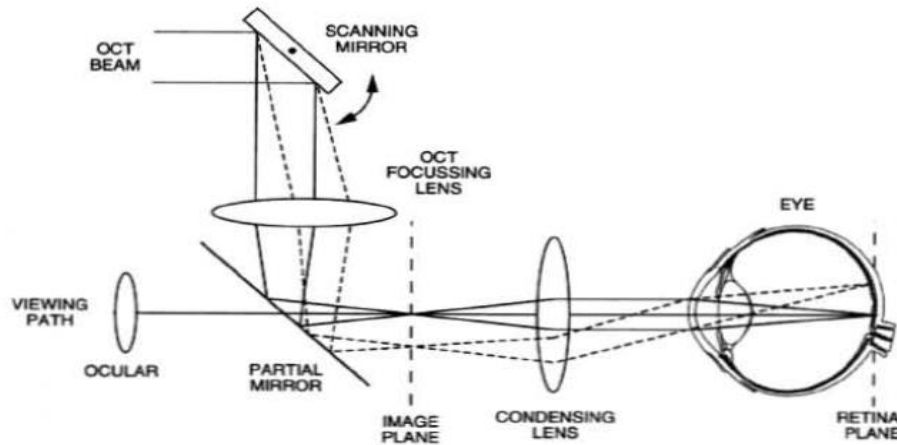


Gambar 114. High Definition Cross Scan.

D. OCT SEGMENT POSTERIOR BOLA MATA

Tipe OCT yang paling umum digunakan adalah tipe OCT yang digunakan untuk membuat gambar segmen posterior dari mata atau retina. Dalam hal ini OCT komersial yang ditujukan untuk menggambarkan segmen posterior adalah OCT Stratus (Carl Zeiss) yang memiliki panjang gelombang 820 nm, dengan pola pencitraan: radial, sagittal dan sirkular. Pada aplikasinya, OCT segmen posterior ini bekerja analog dengan kamera fundus. OCT ini menggunakan lensa yang akan mengirimkan gambar retina ke *plane* yang merupakan salah satu alat dari OCT ini, kemudian *plane* memantulkan bayangan kembali retina untuk memungkinkan operator melihat bagian retina yang diinginkan. Pengukuran sinar OCT dilakukan dengan merangkai jalur optik didalamnya menggunakan cermin reflektif parsial atau *beamsplitter*. Pembesaran gambar retina diatur oleh kekuatan refraksi dari lensa dan pembesaran dari okuler sendiri. Posisi transversa dari sinar OCT dikontrol oleh cermin *scanning* mekanik yang terdapat pada OCT, menggunakan pembesaran yang terendah dengan lapangan pandang hanya sekitar 30°. Gambar fundus dapat dilihat langsung atau melalui kamera video.

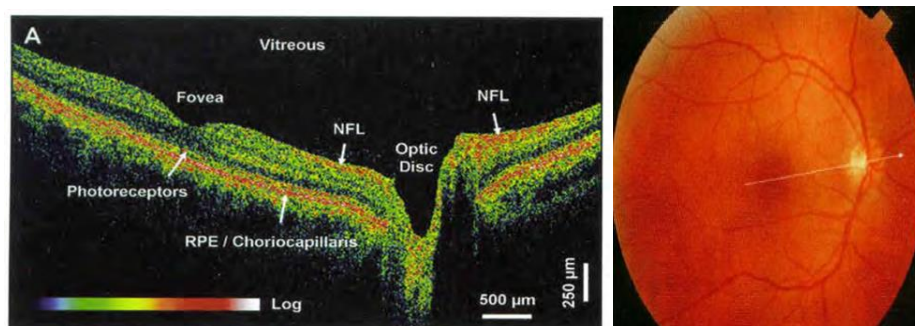
Ketika sinar discan, maka akan menghasilkan pola *scan* pada retina yang nantinya dapat dilihat oleh operator. Alat untuk membesarkan gambar yang terdapat pada OCT dapat diatur sesuai dengan pemeriksaan yang diinginkan.⁵³



Gambar 115. Optic imaging pada pemeriksaan OCT. Diagram skematik ini menunjukkan optik imaging yang digunakan untuk segmen posterior.^{53,54}

E. GAMBARAN OCT RETINA NORMAL

1) Papillomacular Axis



Gambar 116. Gambaran OCT Papillomacular Axis. Daerah yang luas yang diperlihatkan pada tomogram OCT dari retina normal termasuk makula dan daerah peripapil.⁵⁰

Anatomi struktur- struktur dalam skala besar seperti fovea, diskus optik, dan retina sangat jelas dan mudah diidentifikasi dengan melihat karakteristik morfologinya. Batas vitreoretinal membentuk demarkasi oleh karena adanya perbedaan antara vitreus yang non-reflektif dengan permukaan kornea yang bersifat *backscattering*. Diskus optik tampak di

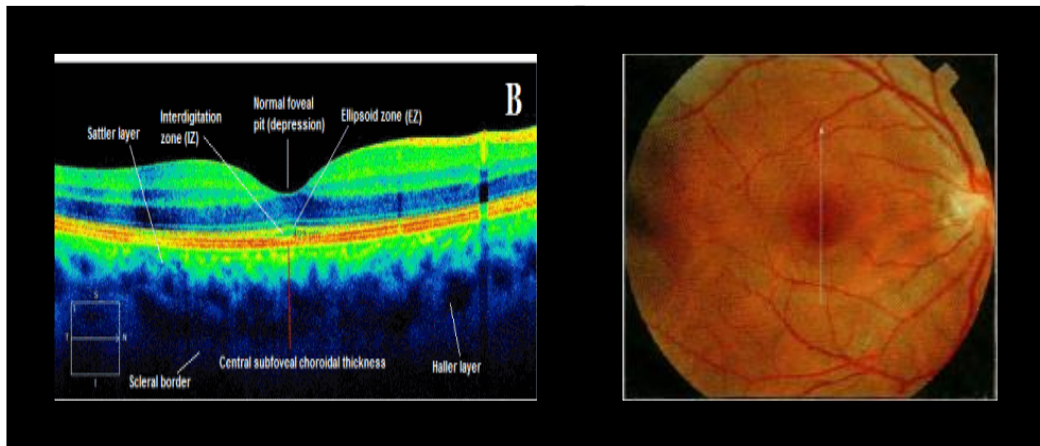
daerah kanan tomogram, memperlihatkan bentuk papil nervus optik dan *cupping* normal. ^{49,50}

Pada tomogram, lapisan berwarna merah memiliki kekuatan refleksi yang tinggi, menunjukkan tepi posterior retina dan epitel pigmen retina (RPE) dan koriokapilaris. Lapisan posterior berakhir pada margin diskus optik bersamaan dengan berakhirnya sirkulasi koroidal pada *lamina cribosa*. Pada area dibawah koriokapilaris, koroid dan sklera memiliki *scattering* relatif lemah, disebabkan karena menurunnya sinyal setelah melewati lapisan neurosensori retina, RPE, dan koriokapilaris.

Lapisan gelap mengindikasikan kemampuan reflektif yang minimal, tampak pada anterior lapisan koriokapilaris, lapisan tersebut adalah segmen luar fotoreseptor retina. Batas bagian dalam retina menunjukkan *backscattering* yang sangat terang, berupa lapisan berwarna merah yang merupakan lapisan serabut saraf/ *nerve fiber layer*(NFL). Gambaran NFL semakin tebal dari makula menuju diskus optik, menunjukkan anatomi yang normal pada daerah tersebut.⁵²

2) Fovea

RPE pada daerah fovea memiliki lebih banyak pigmen dibandingkan daerah lainnya, oleh karena itu daerah ini tampak berbeda dengan koriokapilaris. Lapisan fleksiform luar dan dalam, (IPL, OPL) sama dengan NFL memiliki kemampuan *backscattering sedang*, karena strukturnya terdiri dari jaringan fibrous menyebabkan sinar yang mengenainya berbentuk perpendikular. Pembuluh darah retina diidentifikasi karena kemampuan *backscatter* yang meningkat dan pembentukan bayangan dari refleksi yang berasal dari RPE dan koriokapilaris. Pembuluh darah koroid yang terbesar juga tampak pada gambar dan memiliki reflektif yang minimal serta lumayan gelap.⁵¹



Gambar 117. Gambaran OCT Fovea.

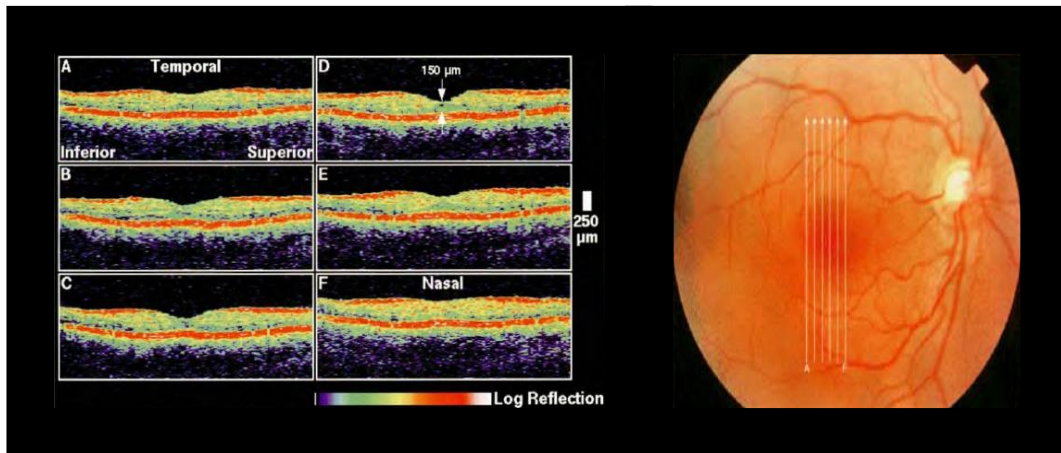
Tomogram OCT dengan pembesaran yang tinggi menunjukkan fovea normal dan lapisan retina dibawahnya. ^{51,52}

F. GAMBARAN OCT SEGMENT POSTERIOR DALAM BERBAGAI POTONGAN

1) Tomogram Makula Potongan Sagital

Kemampuan OCT membagi gambar optik menjadi beberapa potongan yang berurutan dari retina setara dengan *X-ray computed tomography* (CT) atau *magnetic resonance imaging* (MRI). Sebagai contoh, enam tomogram potongan sagital didapatkan berturut-turut dari makula manusia dengan jarak 225 μm masing-masing gambar. Lokasi dari masing-masing tomogram retina diberi label sesuai dengan foto fundus.

Karakteristik retina ditunjukkan dalam beberapa seri gambar OCT dalam beberapa potongan. Permukaan retina anterior dan posterior ditandai dengan *backscattering* di NFL sedangkan daerah vitreoretinal dan *backscattering* yang tinggi ditunjukkan dengan lapisan merah pada daerah RPE dan koriokapilaris.⁴⁹ Rentetan tomogram menunjukkan perkembangan dan resolusi dari cekungan fovea, yang memiliki kedalaman maksimum pada fovea sentralis.⁵¹

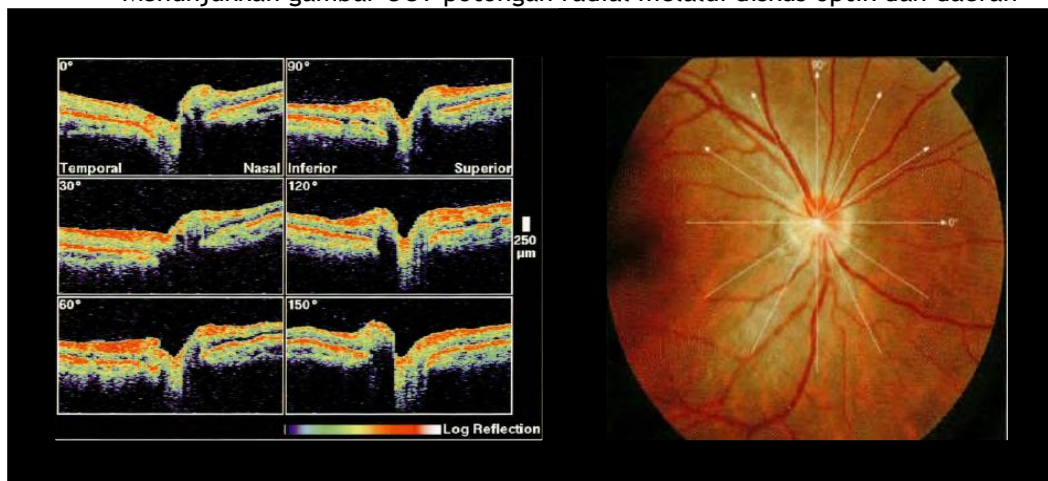


Gambar 118. Tomogram OCT potongan sagital pada makula normal.

2) Tomogram diskus optik potongan radial

Pada tomogram dengan sudut 90° (diambil perpendikular pada axis papillomakular), *backscattering* yang tinggi (merah) dapat terlihat dari NFL dan dari batas posterior pada lapisan neurosensori retina, juga pada RPE dan koriokapilaris. Jika dibandingkan dengan tomogram yang diambil pada sudut 0° (diambil paralel pada axis papillomakular), hasil pencitraan akan memperlihatkan penipisan NFL, berhubungan dengan sarabut saraf yang lebih sedikit pada daerah tersebut. Kontur permukaan dan cupping yang normal dari diskus divisualisasikan pada seluruh tomogram.⁵²

Gambar 119. Gambaran OCT diskus optik. Menunjukkan gambar OCT potongan radial melalui diskus optik dan daerah

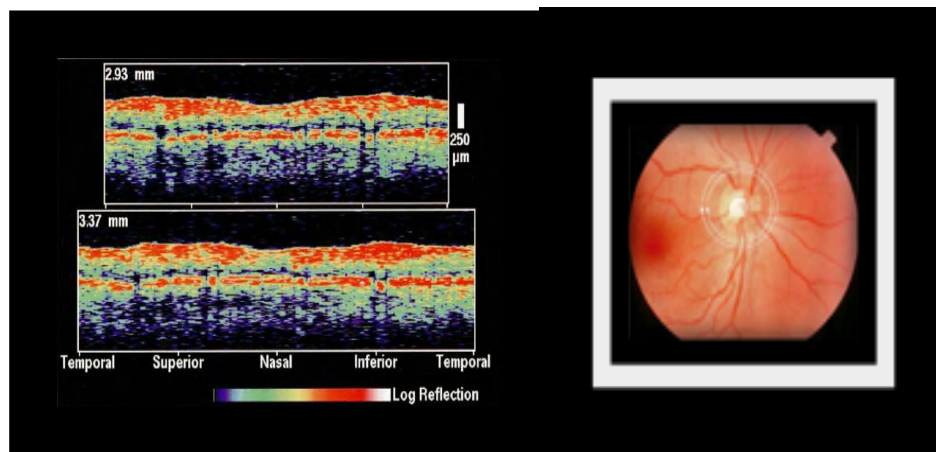


peripapil. Kontur diskus, termasuk cupping sangat jelas terlihat.⁵²

3) Tomogram daerah peripapil potongan sirkuler

Ketebalan NFL dan degenerasi peripapil sangat penting dalam diagnosis dan pengobatan glaukoma serta penyakit neurodegeneratif lainnya. Cara yang sangat tepat untuk menilai NFL pada daerah ini adalah dengan menggambar bagian bagian jaringan dengan bentuk silinder mengelilingi diskus optik.

Lapisan anterior dan posterior memiliki kemampuan *backscattering* tinggi mewakili NFL dan koriokapilaris atau RPE secara berurutan. Kumpulan serabut saraf di inferotemporal dan superotemporal sangat jelas terlihat di tomogram NFL dan retina, tampak sebagai daerah yang menebal dan bertambah difus pada saat jauh dari papil.^{49,52}



Gambar 120. Tomogram OCT sirkular peripapil.

G. INTERPRETASI GAMBAR OCT SEGMENT POSTERIOR

Evaluasi tomogram OCT tergantung dari kemampuan pemeriksa untuk mengidentifikasi perbedaan kemampuan struktur jaringan yang berbeda dalam memantulkan cahaya. Pada beberapa kasus, disebabkan oleh resolusi aksial dari gambar OCT, perubahan yang kecil pada morfologi pun mungkin menyulitkan bagi pemeriksa untuk menilai gambar OCT yang dihasilkan, bila hal ini terjadi maka alat memproses foto secara otomatis yang merupakan bagian dari OCT digunakan untuk memilih cara pengukuran kuantitatif yang tepat untuk gambar OCT tersebut.^{48,51}

1) Analisa kualitatif dan kuantitatif OCT segmen posterior

Tujuan OCT adalah untuk mendeteksi kelainan pada retina, dalam hal ketebalan, morfologi, dan reflektivitas. Tahapan analisa OCT terbagi atas dua, yaitu:

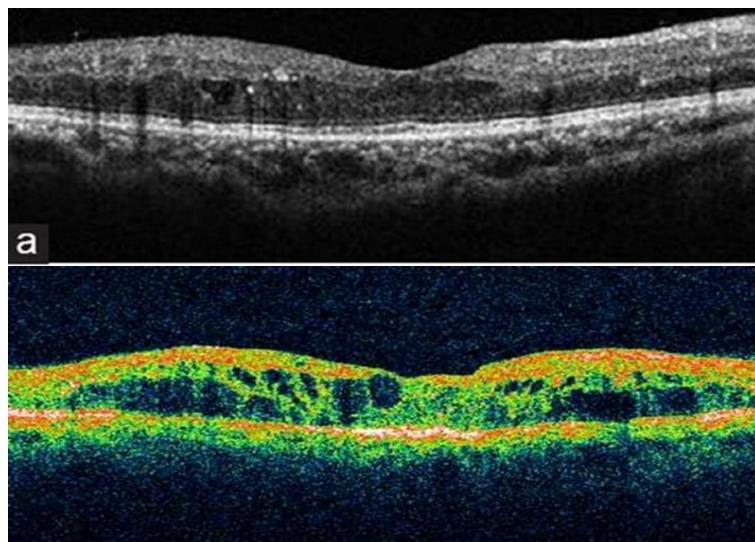
1) Analisa Kualitatif

a. Variasi Morfologi

Terdapat beberapa variasi morfologi retina yaitu,

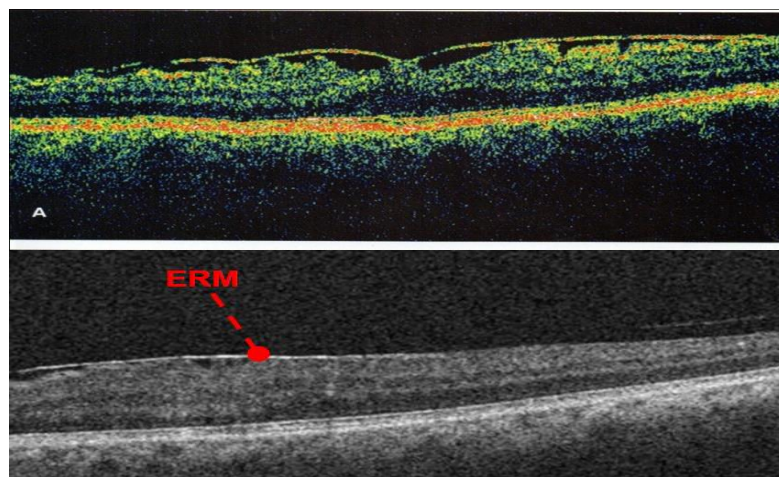
- Perubahan bentuk profil retina:

a. Hilangnya depresi fovea sebagai tanda edema makula



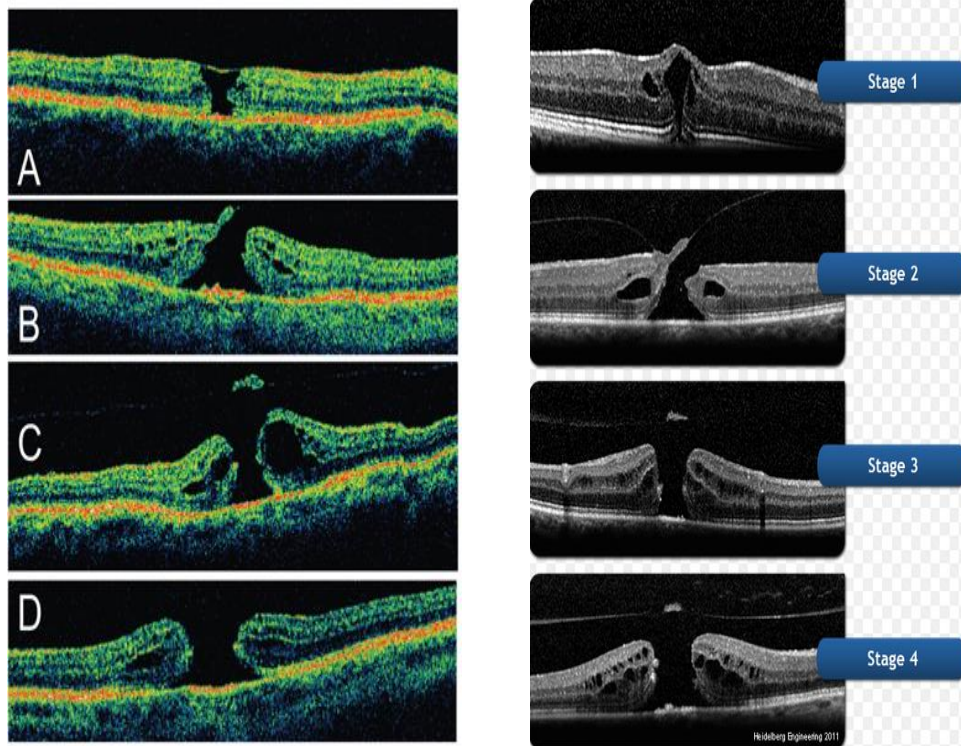
Gambar 121. Gambaran OCT Edema Makula.

b. Epiretinal membrane



Gambar 122. Gambaran OCT Epiretinal Membrane.

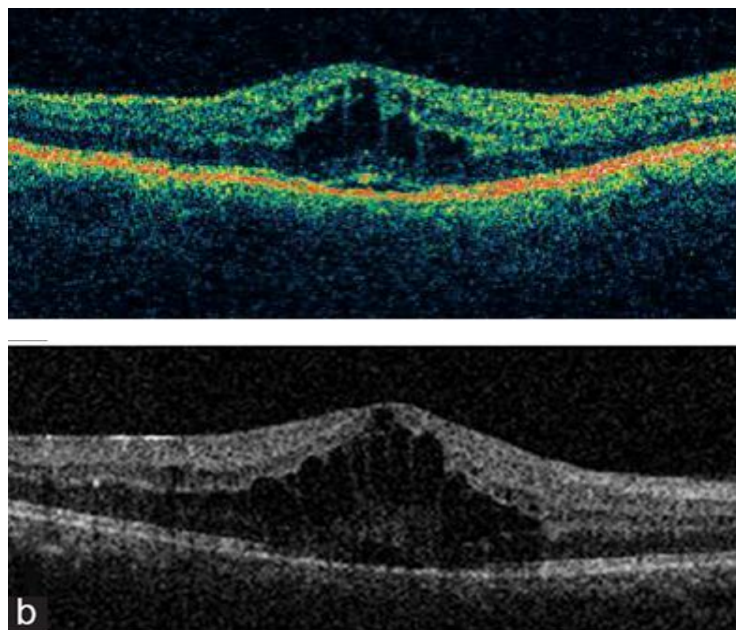
c. *Macular Hole*. OCT membantu mengidentifikasi dan mengklasifikasi *macular hole*, juga menentukan diameter dan luas perlepasannya.



Gambar 123. Gambaran OCT Macular Hole.

Perubahan struktur intra retina:

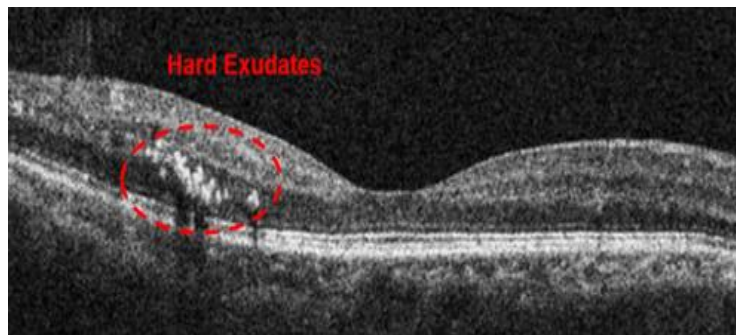
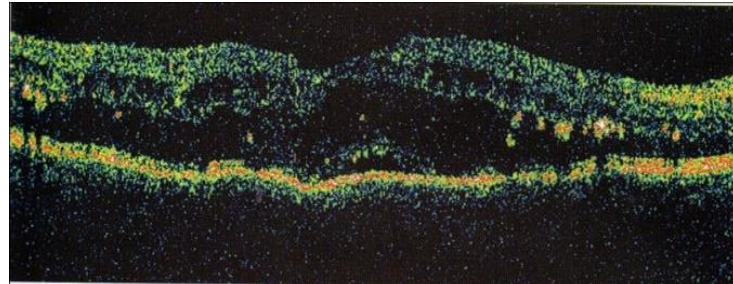
a. Gambaran kista akibat *cystoid macular edema*



Gambar 124. Gambaran OCT Cystoid Macular Edema.

b. *Cotton wool spot* terdiri atas nodul retina yang bersifat *hyper-reflectivity* dimana kontak dengan lapisan retina superficial pada lapisan serabut saraf.

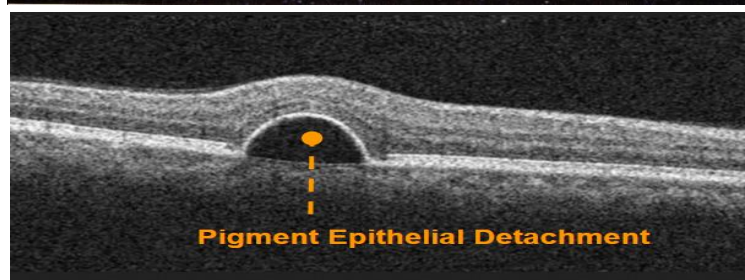
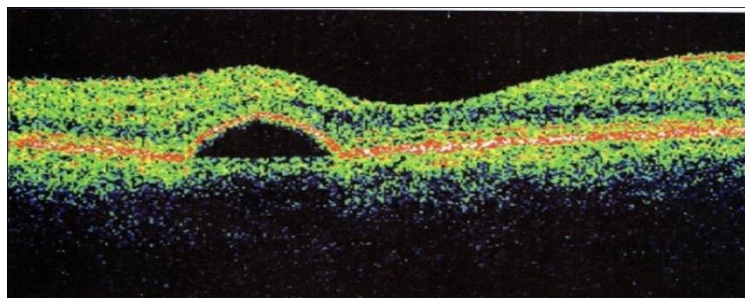
c. *Hard exudates*, bersifat *hyper-reflectivity* dan muncul di batas antara retina yang sehat dan yang edema.



Gambar 125. Gambaran OCT Hard exudate.

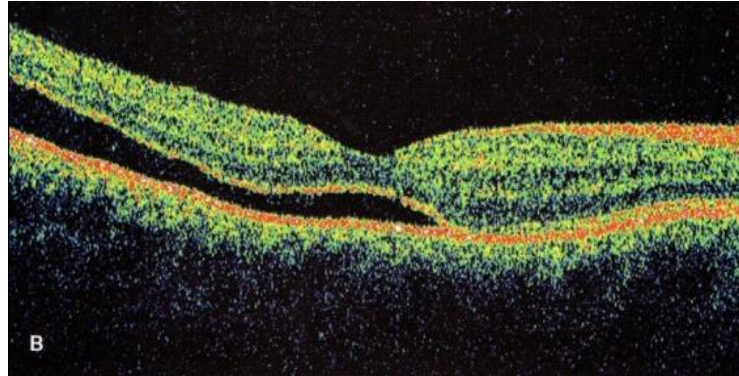
Perubahan morfologi posterior:

1. *RPE Detachment* terletak di posterior retina, membentuk suatu sudut yang curam dengan koriokapiler



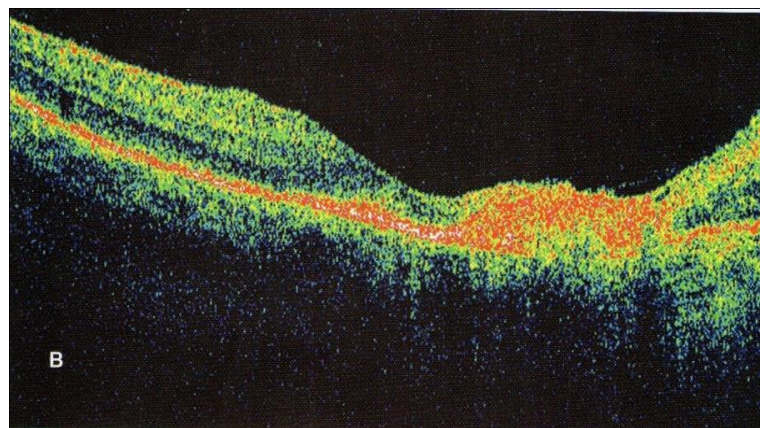
Gambar 126. Gambaran OCT RPE Detachment.

2. *Serous Retinal Detachment*, kurang menonjol, dan membentuk sudut yang dangkal dengan RPE



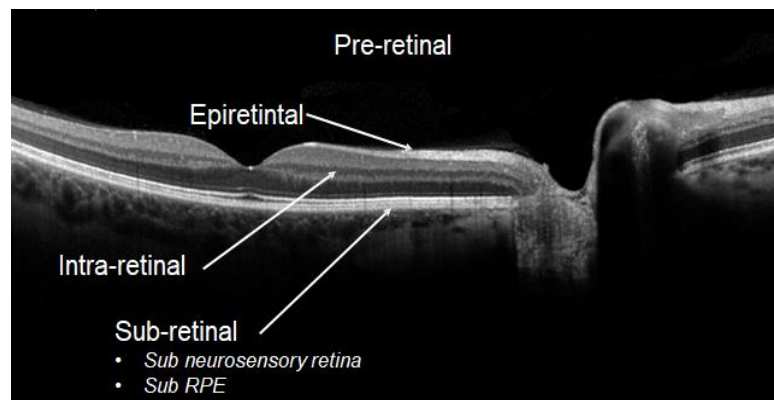
Gambar 127. Gambaran OCT Serous Retinal Detachment.

3. *Choroidal neovaskuler membrane* pada orang muda atau pasien miop terlihat sebagai struktur nodul, bulat, dan fusiform yang terletak di depan RPE.



Gambar 128 Gambaran OCT Choroidal neovaskuler membrane.

b. Anomali Struktur: Pre-retina, epiretina, intraretina, dan subretina



Gambar 129. Gambaran OCT Pre-retina, Epiretina, Intraretina, dan Sub Retina.

c. Reflektivitas

Tabel 10. Studi reflektivitas interpretasi OCT.

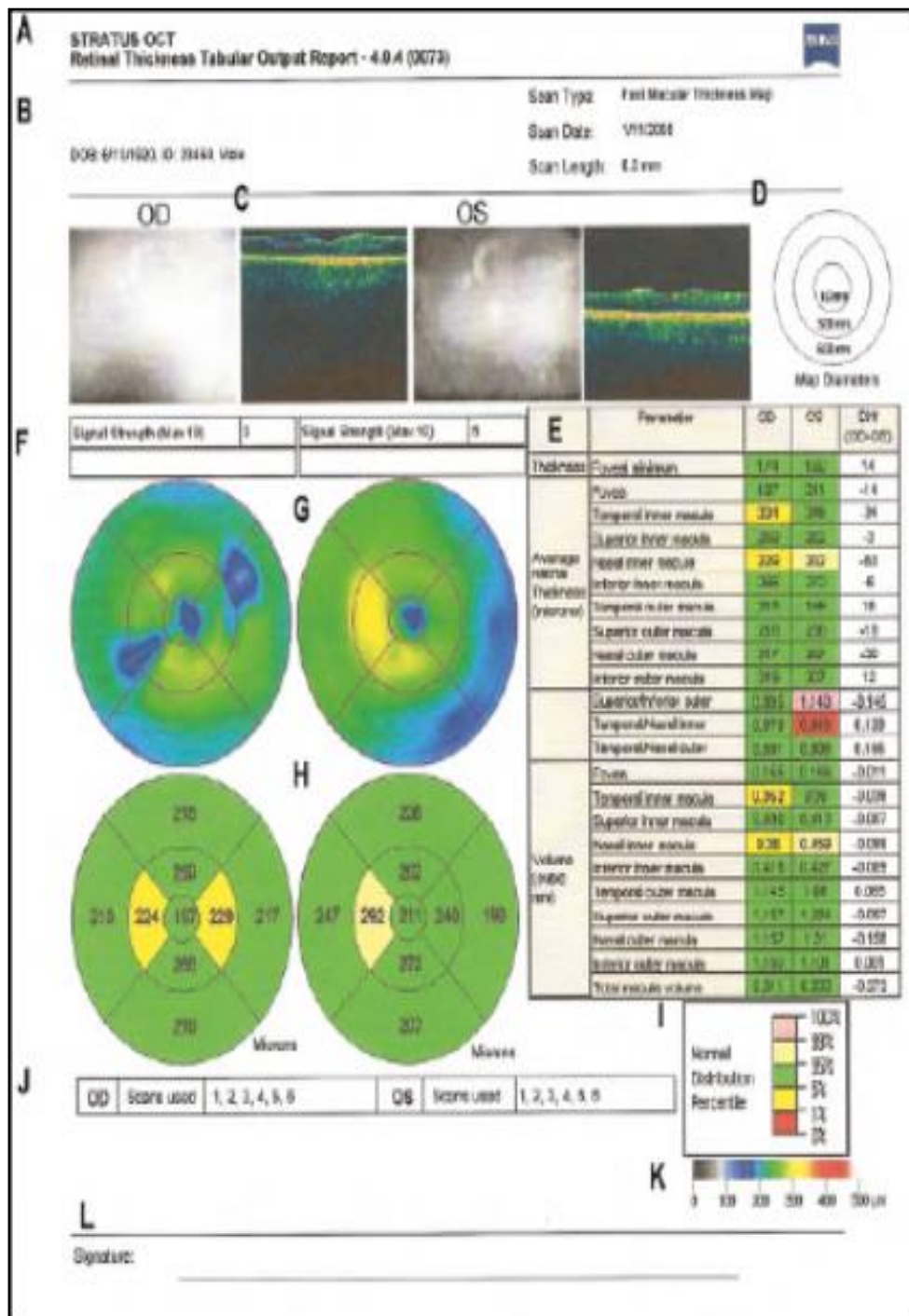
<i>Reflectivity study of OCT Interpretation</i>	
High reflectivity	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Pigment accumulation</i> • <i>Hypertrophy of retinal pigment epithelium</i> • <i>Nevus</i> • <i>Scar</i> • <i>Neovascularization</i> • <i>Hard exudates</i> • <i>Nerve fiber (normal)</i> • <i>PRE-Choriocapillaris complex (normal)</i>
medium reflectivity	<i>Plexiform layer (normal)</i>
Low reflectivity	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Retinal edema</i> • <i>Cystoid edema</i> • <i>Nuclear layer (normal)</i> • <i>Photoreceptors (normal)</i> • <i>Cavities/ cysts</i> • <i>Pigment epithelial detachment</i> • <i>Serous retinal detachment</i>

Tabel 11. Perbandingan pemeriksaan FFA dan OCTA

	FFA	OCTA
Persiapan pemeriksaan laboratorium sebelum tindakan	✓	-
Tindakan invasif	✓	-
Mendeteksi adanya kebocoran pembuluh darah	✓	-
Penggunaan zat kontras intravena	✓	-
Efisiensi waktu pemeriksaan	-	✓
Pemeriksaan segmental lapisan retina	-	✓

2) Analisa Kuantitatif

Digunakan untuk menilai ketebalan, volume, dan *surface mapping*

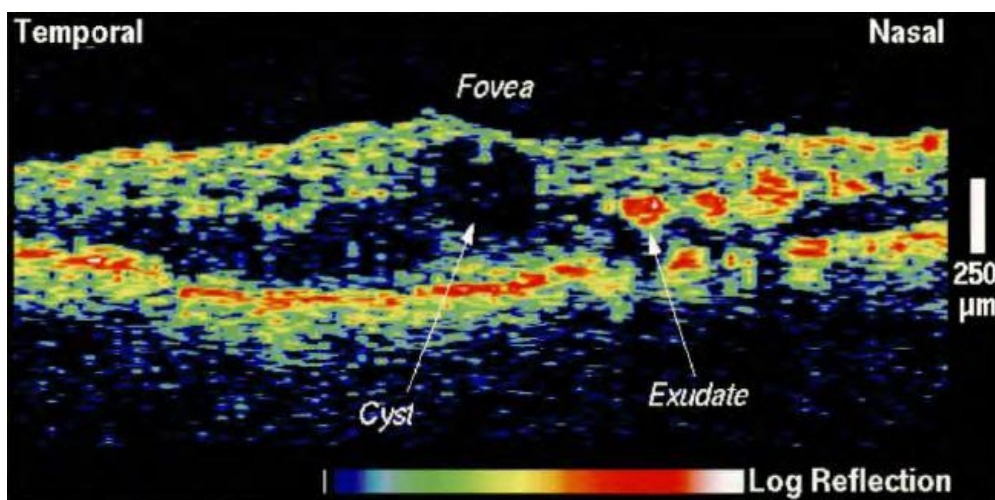


Gambar 130 Lembar laporan hasil pemeriksaan OCT.

Contoh analisa kuantitatif OCT: Laporan hasil tabular ketebalan retina. (A) Tipe laporan. (B) Informasi pasien dan scan. (C) Gambaran fundus dan scan OCT tunggal. (D) Diameter yang digunakan untuk peta ketebalan. (E) Parameter ketebalan dan volume. (F) Kekuatan sinyal. (G) Peta ketebalan dengan kode warna. (H) Peta ketebalan dengan data normatif. (I) Persentil untuk distribusi normal. (J) Scan dengan perhitungan analisis. (K) Skala ketebalan dengan kode warna. (L) Interpretasi.

3) Ketebalan Retina

Ketebalan retina merupakan pertimbangan yang sangat penting untuk menegakkan diagnosis banyak penyakit pada makula. Resolusi tinggi aksial pada OCT dikombinasikan dengan adanya perbedaan kemampuan dari struktur anterior dengan posterior retina dalam memantulkan cahaya. Ketebalan retina meningkat dengan adanya udem. Akumulasi cairan intraretinal akan mengakibatkan peningkatan ketebalan retina dan juga menyebabkan perubahan sifat *backscattering* dari jaringan yang terlibat. Lokasi yang penting dalam menilai terjadinya perubahan pada ketebalan retina adalah pada fovea. Edema pada daerah ini akan menyebabkan gangguan yang bermakna pada visus. OCT juga dapat digunakan untuk melihat adanya udem makula pada pasien retinopati diabetik atau untuk penapisan pasien pasca bedah katarak terhadap kemungkinan mengalami *cystoid macular edema*. Edema retina dibedakan dengan traksi pada retina dengan mengidentifikasi terbentuknya ruang kistik atau celah pada retina yang mengindikasikan terjadinya *cystoid macular edema*, atau dengan mengamati adanya hyaloid posterior atau membran epiretinal yang kemungkinan menjadi penyebab terjadinya traksi retina. Penurunan ketebalan retina disebabkan karena atrofi atau sikatriks yang lokasinya bisa fokal ataupun difus juga dapat terlihat pada gambar OCT.^{1,51}

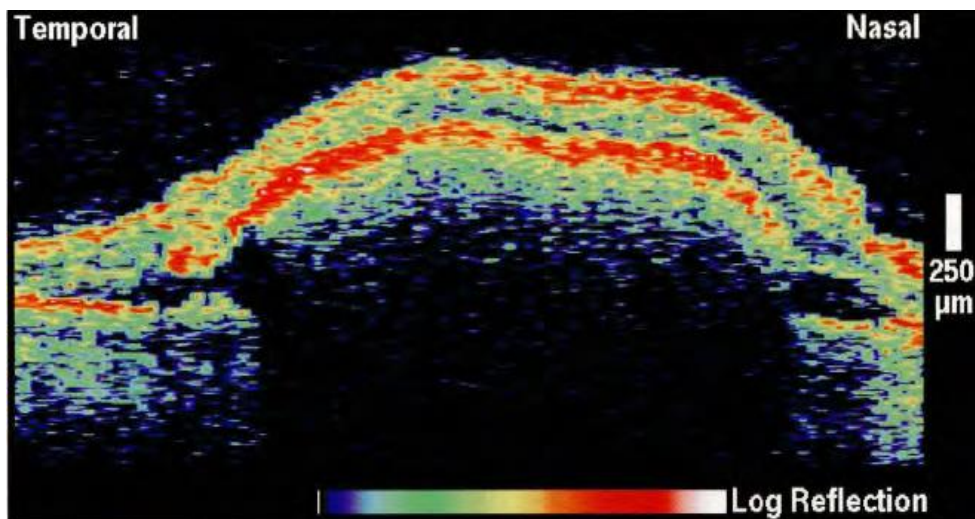


Gambar 131. OCT tomogram pada pasien cystoid macular edema.

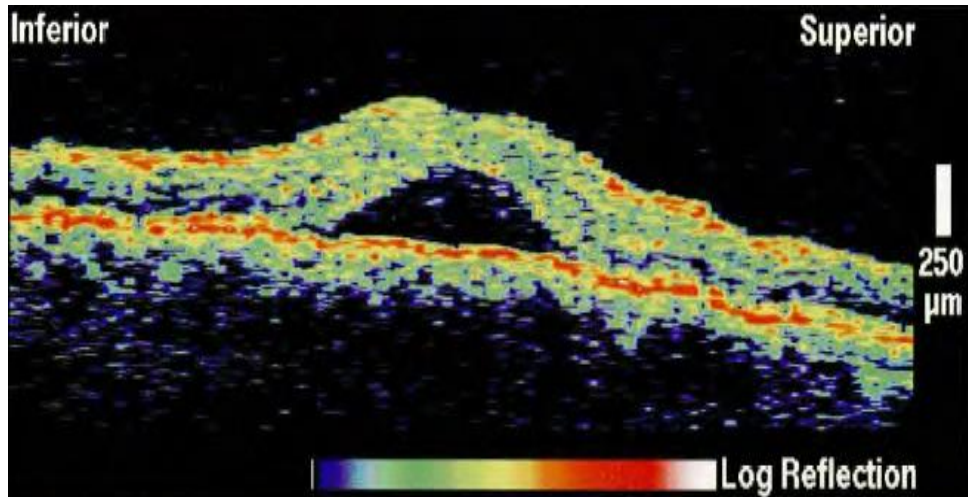
4) Lepasnya Lapisan Neurosensory Retina dan Retinal Pigment Epithelium (RPE)

OCT dapat digunakan untuk mengevaluasi lepasnya lapisan neurosensori retina dan RPE. Lepasnya lapisan neurosensori menampakkan retina sedikit terangkat, membentuk ruang antara retina dan RPE. Sedangkan *Serous detachments* RPE memiliki penampakan yang sangat berbeda, disini RPE tampak terangkat lebih tinggi dari *neurosensory detachment*. Peningkatan kekuatan reflektif dari fotoreseptor pada neurosensory detachment, memberikan kemiripan dengan kekuatan reflektif yang sama pada RPE, perbedaan antara neurosensory dan pigment epithelial detachment dapat dinilai dengan melihat kekuatan pantulan dibawah kumpulan cairan serous dan mengevaluasi sudut *detachment*.

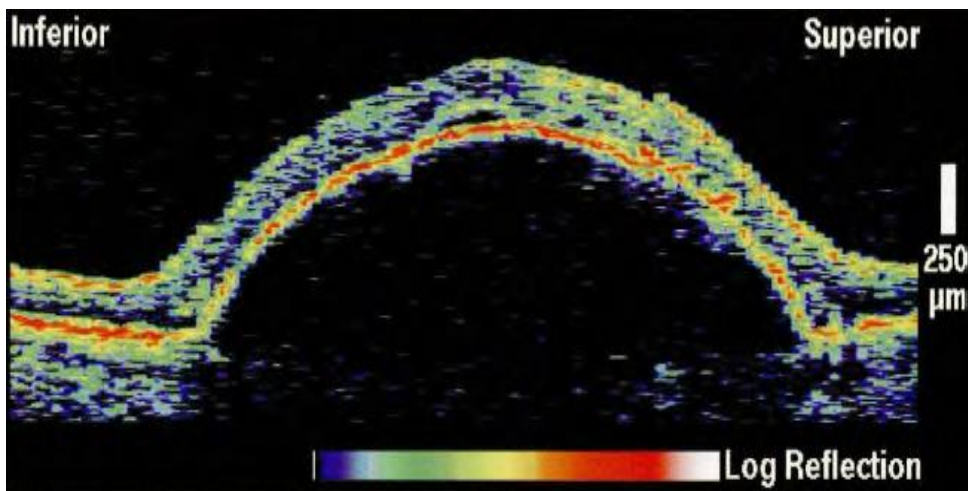
Hemorrhagic detachments dari RPE memiliki karakteristik yang sama dengan serous RPE detachment, kecuali bahwa sinyal optik yang mengalami backscatter sesuai dengan darah tampak tepat dibawah RPE yang terpisah. *Backscattering* darah pada tingkatan sedang disebabkan attenuasi sinar insiden melintasi RPE yang terlepas. Penetrasi optikal melalui darah dan RPE yang terlepas biasanya kurang dari 100 μm .^{1,52}



Gambar 132. Tomogram OCT pada hemorrhagic detachment.



Gambar 133. Tomogram OCT pada kasus neurosensory retinal detachment.



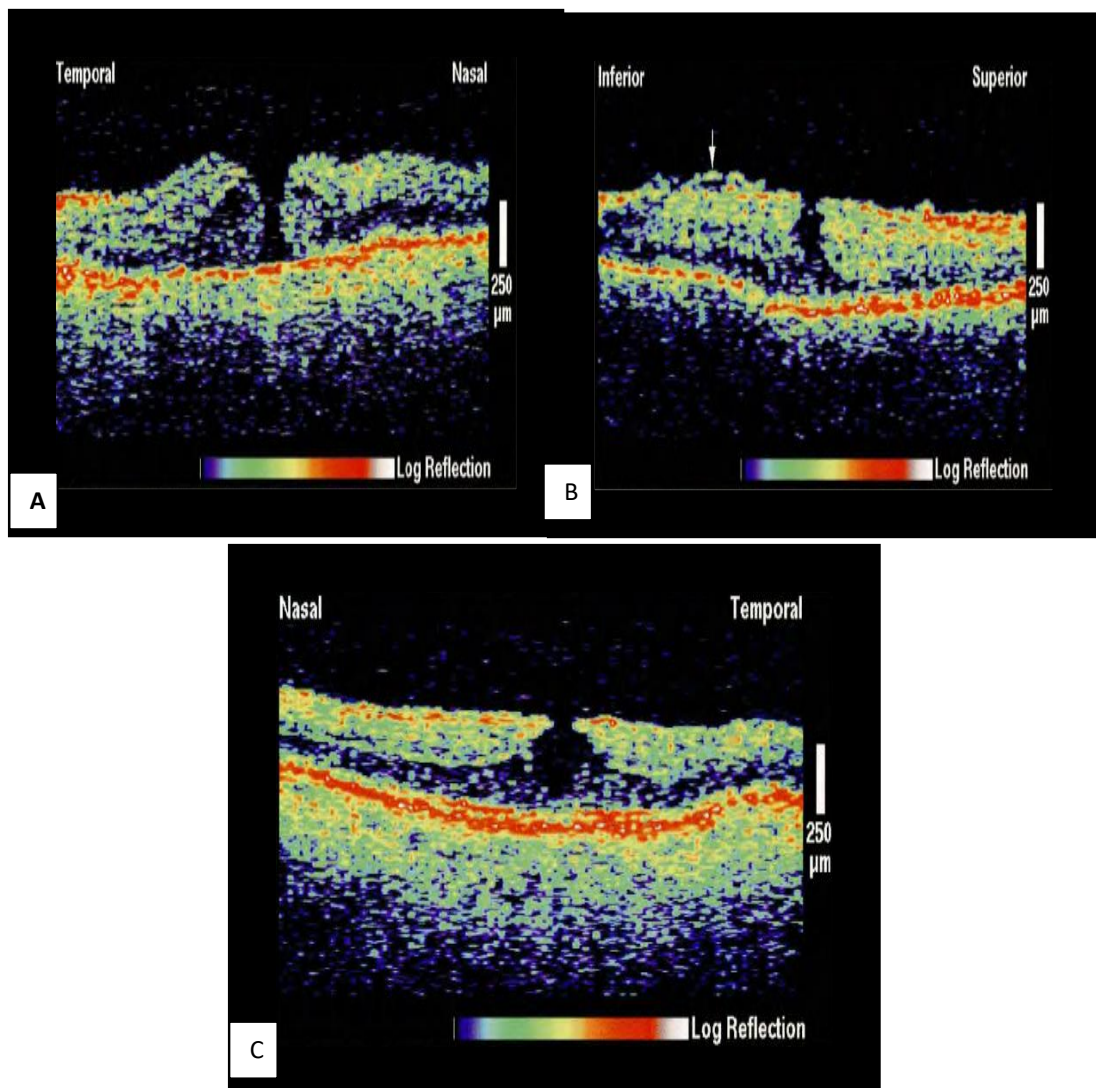
Gambar 134. Serous detachment dari RPE.

5) Vitreous dan vitreoretinal interface

Banyak jenis penyakit pada retina dan vitreus mempengaruhi permukaan vitreoretina. Vitreus normal secara optik sangat transparan, membentuk batas yang kontras antara vitreus dan retina. Sinyal akan mengalami *backscatter* pada vitreus dengan infiltrat hasil inflamasi, kondensasi vitreus atau darah. Membran hyaloid posterior normalnya tidak bisa dibedakan dengan permukaan retina pada gambar OCT, tetapi terlihat jelas pada kasus *posterior vitreous detachment*.⁵²

6) Fovea

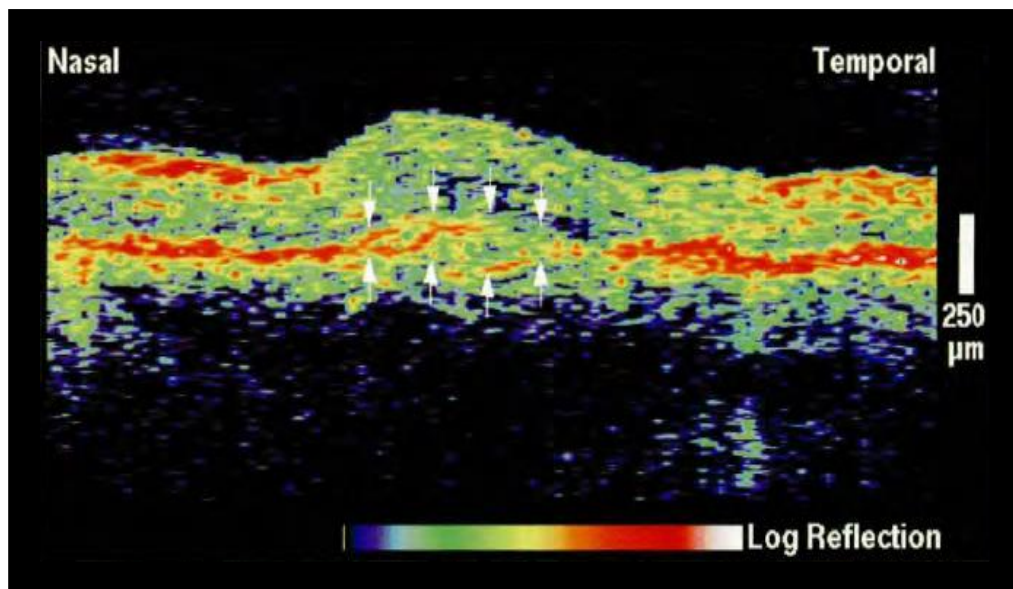
Perubahan yang terjadi pada morfologi fovea akan tampak pada OCT dan mengindikasikan suatu penyakit. Kehilangan fotoreseptor fovea dapat dinilai dengan OCT, seperti halnya yang terjadi pada kasus *macular holes full thickness*. Fibrosis di sentral, atau lesi makula lainnya. Kontur fovea yang menjadi datar sering dihubungkan dengan kejadian *impending macular hole*, udem fovea.^{49,50,52}



Gambar 135. Perbandingan antara idiopathic full-thickness macular hole.
(A). Macular pseudohole akibat epiretinal membran. (B) *Lamellar atau parsial hole*.
(C) *Fullthickness hole*.⁵²

7) *Retinal pigment epithelium (RPE) dan koriokapilaris*

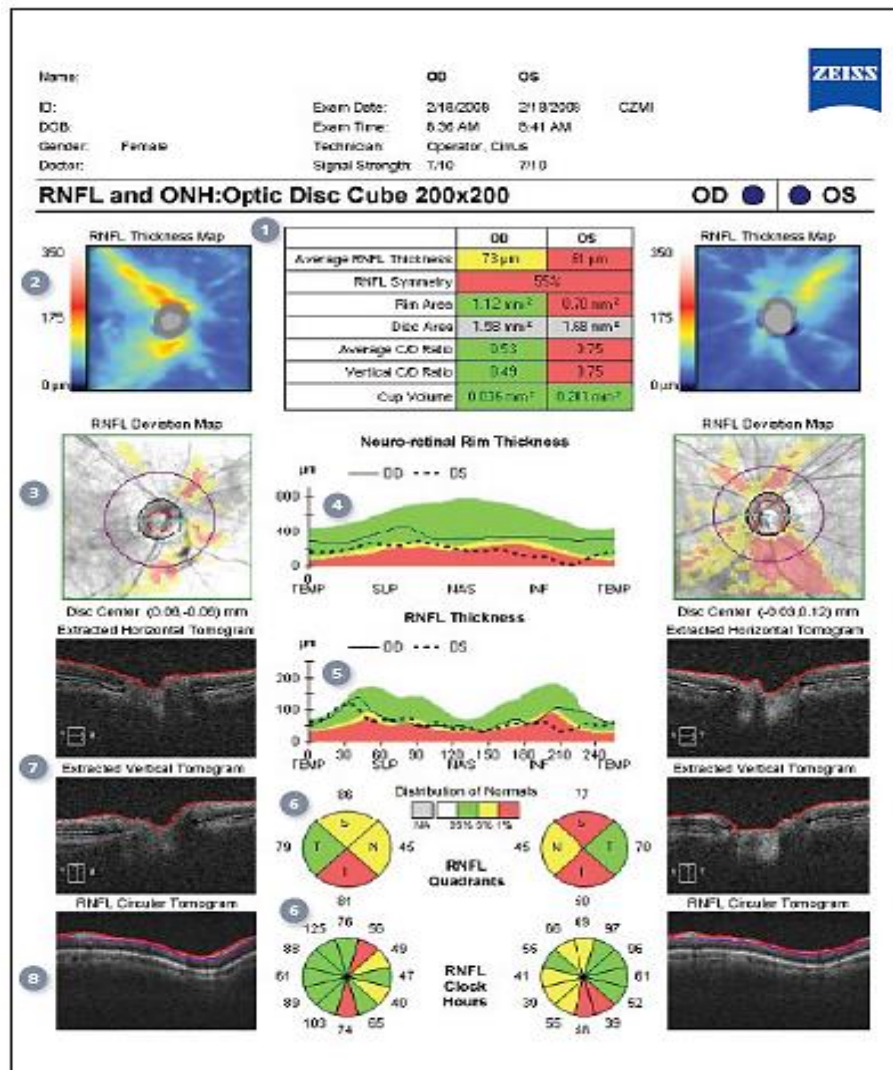
Meskipun RPE dan koriokapilaris sangat sulit dibedakan pada tomogram OCT, refleksi keduanya digabungkan akan membentuk batas posterior dari neurosensori retina pada gambar OCT, sehingga memberikan informasi yang sangat berguna pada keadaan patologi korioretinal seperti *age-related macular degeneration* dan neovaskularisasi koroid.^{47-49,52}



Gambar 136. Tomogram OCT pada Neovaskularisasi koroid.

8) *Lapisan Serabut Saraf (NFL)*

Gangguan yang menyebabkan perubahan pada ketebalan NFL menjadi petunjuk penting pada penyakit neurodegeneratif seperti glaukoma. NFL pada gambar OCT tampak sebagai lapisan yang memiliki *backscattering* yang tinggi dilapisan superfisial retina dibandingkan lapisan retina yang lebih dalam. Logaritma komputer dapat digunakan untuk mengevaluasi ketebalan retina dan NFL. *Investigative Ophthalmology and Visual Science* menyatakan bahwa pencitraan dengan OCT Cirrus jauh lebih baik dibandingkan dengan OCT Stratus terutama pada kasus glaukoma untuk menilai RNFL.^{51,52}



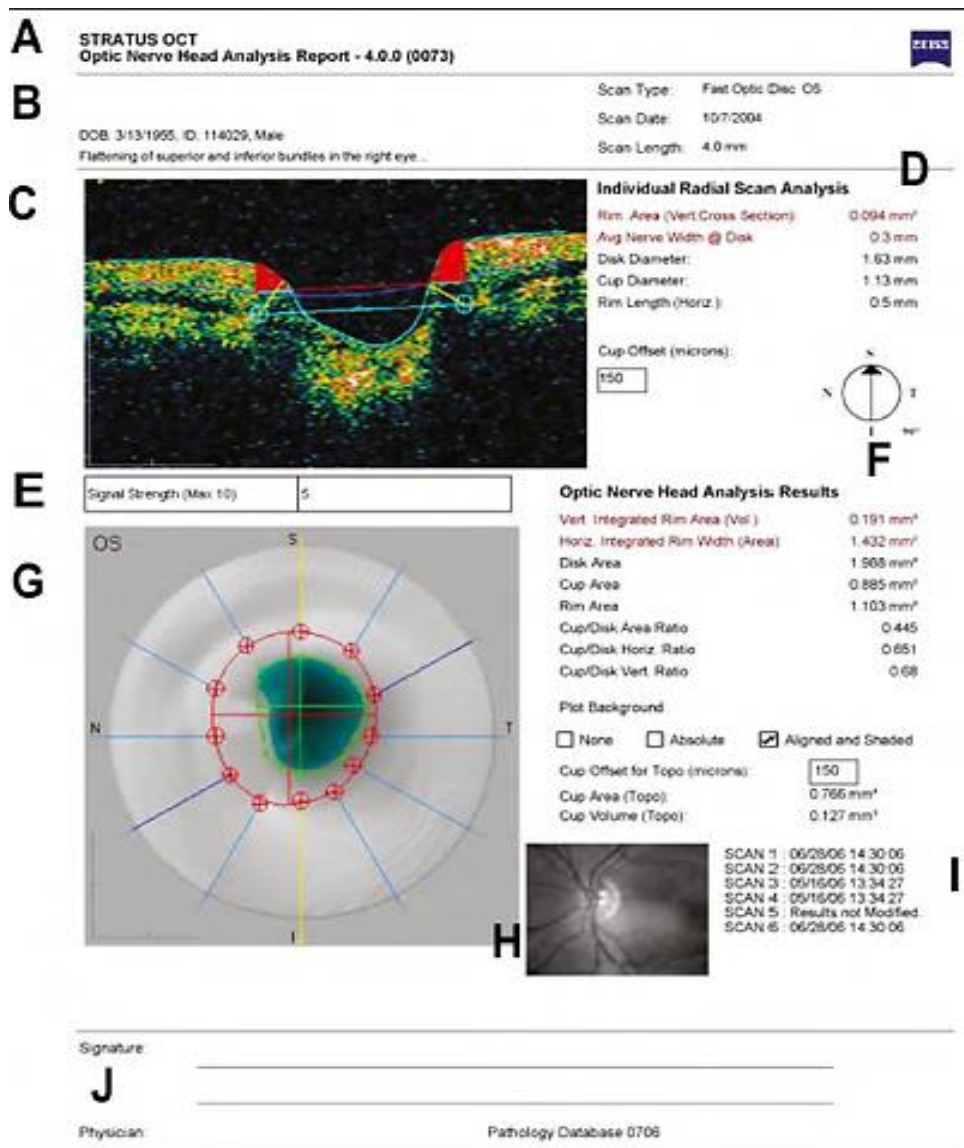
Gambar 137. Lembar hasil Pemeriksaan RNFL.

Glaukoma merupakan *focal disease* dengan predileksi pada RNFL dan bagian inferior dan superior diskus optik. Asimetri antara kedua mata signifikan dalam mendiagnosis glaukoma. Pada *scan* RNFL yang abnormal dapat terjadi penipisan pada lapisan RNF.⁵⁶

9) *Optic nerve head*

Analisa diskus optik berdasarkan *fast scan optic disc*. Fast Scan optic disc menggunakan 6 garis 4 mm untuk mengambil data cross sectional pada *optic nerve head*. Hasil dari analisis merupakan hasil dari scan tunggal ataupun gabungan dari nerve head. Lingkaran menunjukkan posisi scan daerah yang akan dievaluasi. OCT secara otomatis membuat gambaran dari cup dan diskus optik dimana gambaran ini sangat berguna dalam kepentingan klinis. OCT juga mampu mengukur dari *cup-to-disc ratio* dan *vertical cup-to-disc ratio*.⁵²

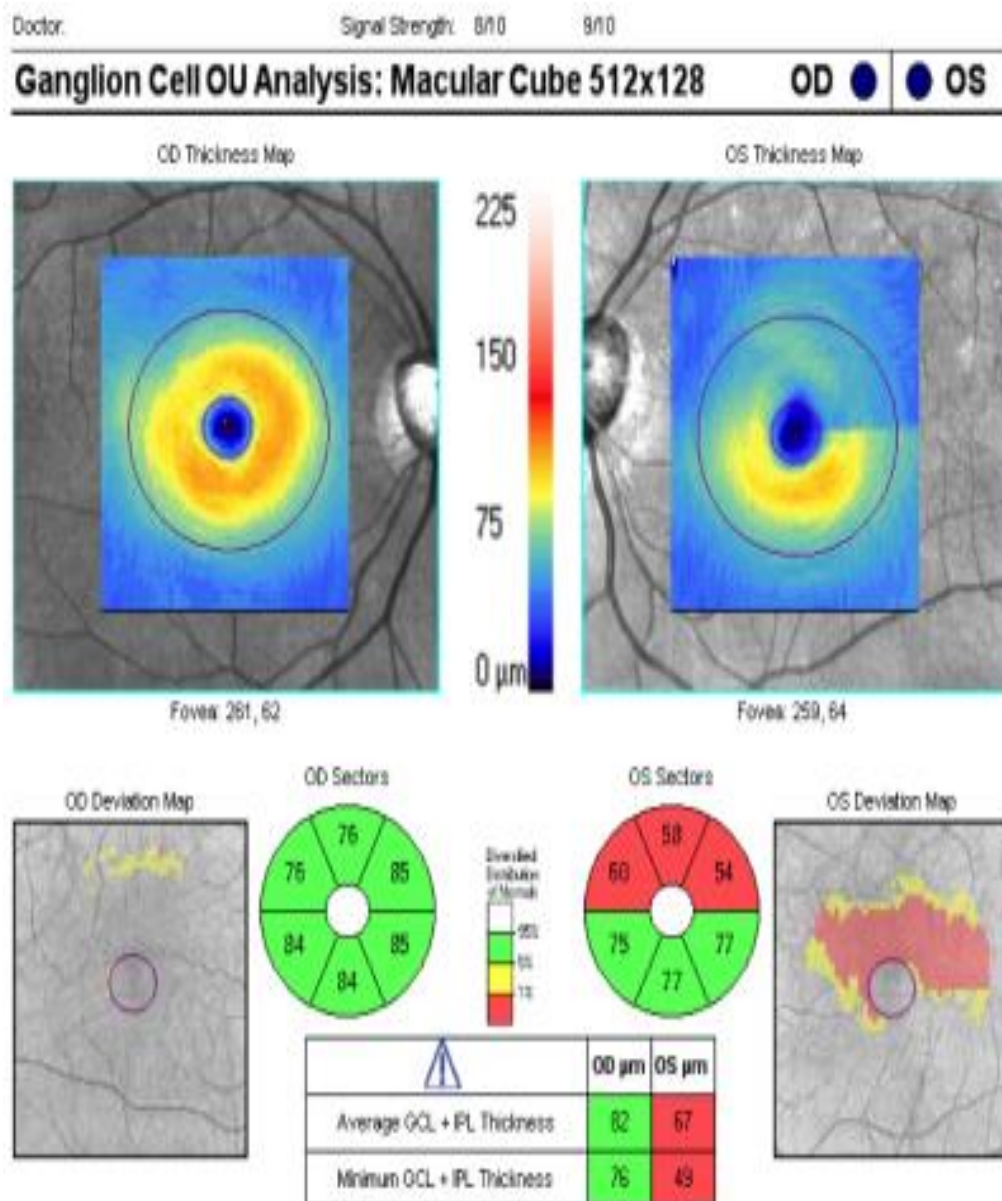
OCT memindai diskus optik dengan menandai akhir dari membrana Bruch dan secara perpendikular menandai membran limitan interna sebagai *cup disc*. Hasil scan kemudian dibandingkan dengan database normal yang terdapat di dalam OCT (kecuali area diskus). Tomogram linear melalui diskus optik sangat penting dalam menilai *cup disc ratio* (CDR).⁵² Titik dimana koriokapilaris berakhir pada lamina kribrosa digunakan untuk menentukan batas diskus, penjelasan tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 138. Lembar hasil pemeriksaan Papil Nervus Optik.
 Keterangan: A) Tipe laporan. (B) Informasi pasien dan scan. (C) Gambaran OCT tunggal.
 (D) Parameter analisis scan tunggal. (E) Kekuatan sinyal. (F) Parameter analisis keseluruhan. (G) Pola dari scan radial dengan scan pilihan diindikasikan dengan garis kuning. (H) Gambaran fundus menunjukkan penempatan scan. (I) Waktu saat scan radial terakhir dimodifikasi. (J) Interpretasi.⁵⁶

10) Analisis sel ganglion

Lapisan sel ganglion pada retina yang paling tebal terdapat pada daerah *perimacular*. Mayoritas penelitian tentang glaukoma menilai penipisan lapisan sel ganglion pada daerah ini. Meski demikian, penilaian lapisan ini sangat sulit karena OCT mengukur lapisan ini dengan memasukkan *inner plexiform layers*. Pada gambar berikut kita bisa melihat hasil scan *ganglion cell inner plexiform layer*.



Gambar 139. Lembar hasil scan ganglion cell inner plexiform layer. Gambar ini disajikan dalam bentuk lingkaran yang terbagi atas beberapa sektor kemudian dibandingkan dengan database normative.⁵⁶

OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY ANGIOGRAPHY

Optical coherence tomography angiography (OCTA) adalah OCT yang memberikan informasi mengenai sirkulasi retina dan koroid tanpa membutuhkan suntikan pewarna. Dengan perkembangan terbaru dari sistem OCT berkecepatan tinggi dan algoritma yang efisien, OCTA menjadi lebih mudah digunakan.

OCTA pertama kali dipaparkan pada tahun 2006 oleh Makita et al. menggunakan sistem OCT Spectral Domain (SD-OCT) 18,7 kHz. Dengan peningkatan lebih lanjut perangkat keras OCT dan kemajuan dalam teknik pemrosesan data, angiogram OCT berkualitas lebih tinggi dapat dihasilkan dengan lebih sedikit artefak pada gambar.⁵⁷

Secara konvensional, *fluorescein angiography* (FA) dan *indocyanine green angiography* (ICGA) digunakan untuk penilaian klinis kualitatif sirkulasi retina dan koroid. Pemeriksaan ini membutuhkan suntikan kontras melalui jalur intravena, yang memakan waktu dan dapat berpotensi memberikan efek samping yang serius. Selain itu, FA dan ICGA menghasilkan gambar dua dimensi (2D) dari sirkulasi okuler, membatasi persepsi kedalaman dan investigasi lebih detail dari vaskularisasi retina dan koroid. Fungsi tambahan OCT juga telah dieksplorasi untuk pencitraan vaskular pada mata.

Doppler OCT (DOCT) menggunakan *Doppler frequency shift* yang dihasilkan dari pergerakan sel darah merah untuk mengukur aliran darah volumetrik di pembuluh darah besar, seperti untuk pengukuran dari total aliran darah retina. Namun, DOCT kurang cocok untuk menyelidiki mikrovaskuler retina. DOCT sensitif terhadap aliran darah yang sejajar dengan sinar OCT, sedangkan aliran mikrovaskuler retina umumnya tegak lurus dengan sinar OCT. OCTA memiliki kemampuan menghasilkan angiogram dengan resolusi tinggi dari jaringan vaskular retina dan koroid. OCTA mendeteksi gerakan darah menggunakan sinyal intrinsik untuk menangkap lokasi pembuluh darah.⁵⁷

1) Prinsip teknis dan pengolahan gambar OCTA

OCTA membutuhkan scan berulang di lokasi yang sama untuk mendeteksi adanya gerakan. Oleh karena itu, pengembangan OCTA tidak mungkin dilakukan pada era dimana *speed time-domain systems* lebih lambat. Dengan pengenalan awal sistem OCT *fourier-domain*, kecepatan pemindaian OCT ditingkatkan dengan faktor 50, membuka jalan untuk aplikasi OCT yang lebih maju.⁵⁷

2) Pengolahan gambar OCTA

Data aliran 3D biasanya disajikan dalam bentuk gambar 2D, sebanding dengan angiografi konvensional. Sinyal aliran pada lapisan jaringan atau lempengan tertentu dapat dikompres menjadi satu gambar 2D *enface*. Lembaran ini didefinisikan oleh dua batas segmentasi yang relevan. Sebagai contoh, sirkulasi retina bagian dalam adalah sinyal aliran antara ILM dan batas luar OPL, sedangkan *avaskuler outer retinal slab* didefinisikan antara batas luar OPL dan BM.

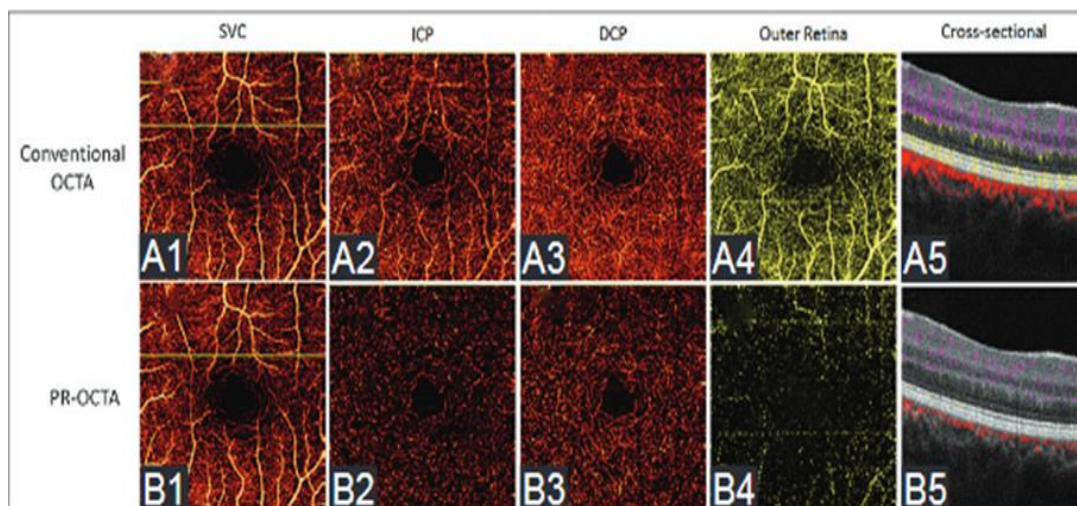


Gambar 140. Jenis alat OCT-A.
(A) ZEISS Angioplex™, (B) Optovue AngioVue®, (C) Heidelberg engineering®.⁵⁸

Metode lain untuk menyajikan OCT angiogram adalah menggunakan pendekatan *cross-sectional* konvensional. Sinyal aliran diberi kode warna dan dilapiskan pada gambar OCT struktural. Tampilan data struktural bersama dengan data aliran dalam *B scan* yang sama dapat berguna dalam memberikan informasi rinci tentang kedalaman kelainan vaskular seperti neovaskularisasi retina atau choroidal (CNV).⁵⁷

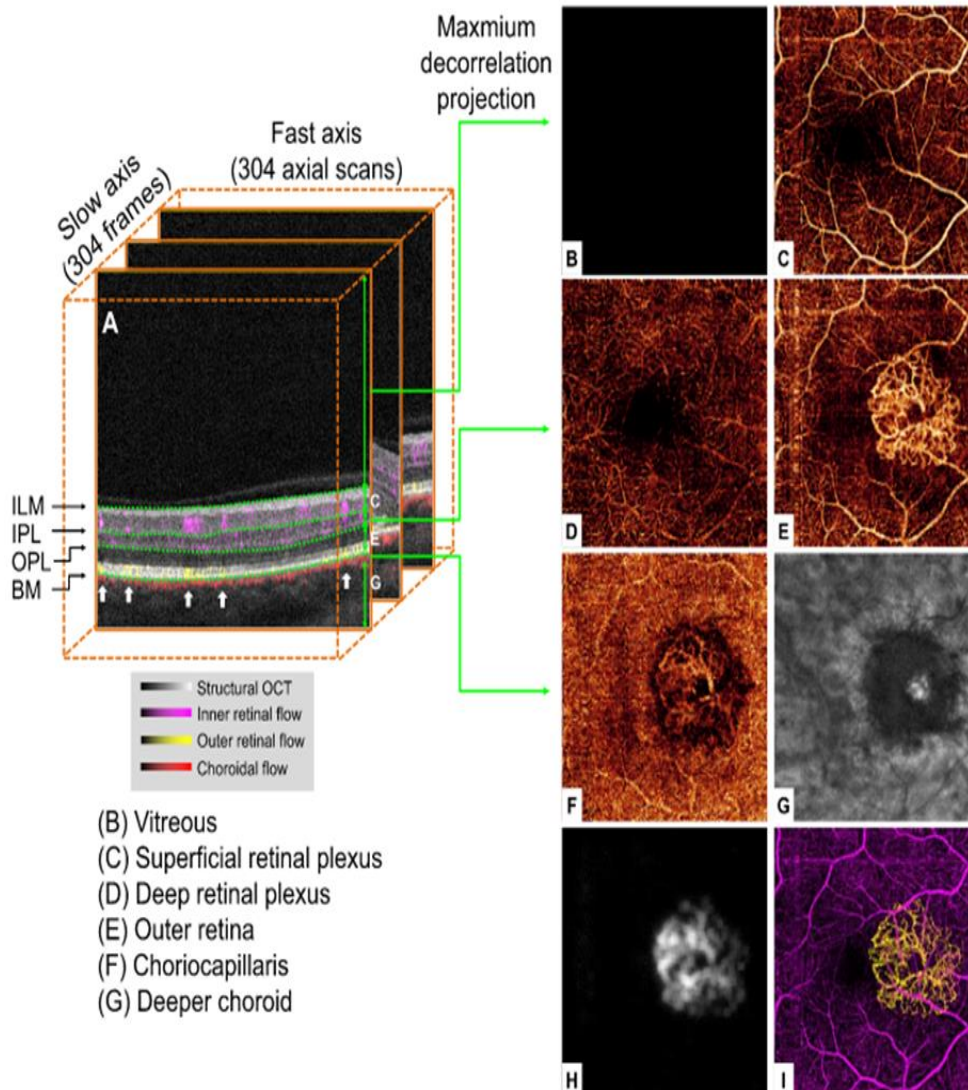
Saat ini, saat ini ada 4 perangkat OCT-A yang tersedia secara komersial:

1. ZEISS Angioplex™ OCT angiographic imaging pada platform CIRRUS™ HD-OCT, dengan tingkat pemindaian hingga 68.000 A-scan per detik dan perangkat lunak *tracking* yang dikenal sebagai FastTrac™ jauh lebih baik. Gambar tiga dimensi diperoleh menggambarkan aliran eritrosit serta mikrovaskulatur dari lapisan superfisial, dalam, dan avaskular retina.
2. Optovue AngioVue® (Optovue, Inc., Fremont, CA), yang menggunakan split-spectrum amplitude-decorrelation angiography algorithm, yang meminimalkan kebisingan gerak. Sistem ini juga memungkinkan analisis kuantitatif, karena menyediakan data numerik tentang luas aliran dan peta kepadatan aliran.
3. Topcon® menggunakan algoritma yang berbeda, OCTA Ratio Analysis, yang bermanfaat bila dipasangkan dengan SD-OCT, dan meningkatkan sensitivitas untuk mendeteksi aliran darah rendah dan mengurangi artefak gerak tanpa mengurangi resolusi aksial.
4. Heidelberg engineering® menggunakan sistem *eye-tracking* (TruTrack™) yang menilai secara bersamaan fundus dan akuisisi gambar OCT untuk mencapai rasio *signal-to-noise* yang lebih baik.



Gambar 141. Tampilan gambar hasil angiografi makula. Perbandingan antara koherensi optik tomografi angiografi makula (3 mm x 3 mm) dari manusia sehat.⁵⁷

Segmentasi dan Pemrosesan OCTA

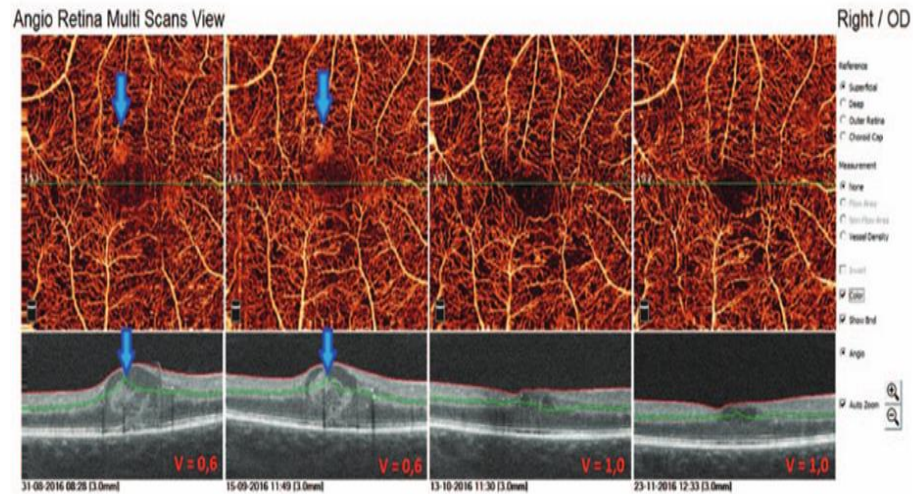


Gambar 142. Segmentasi dan Pemrosesan OCTA.

Optik koherensi tomografi dilakukan pada SD-OCT 70-kHz dengan panjang gelombang 840 nm dan resolusi aksial 5 μ m di jaringan. (A) Volumetrik scan OCTA terdiri dari 304 frame cross-sectional frame dengan scan axis yang lambat. Tiap frame direkam menggunakan algoritma SSADA. Algoritma cross-sectional menunjukkan aliran darah (yang berwarna) di lapisan struktur OCT (skala abu-abu). Hal ini menunjukkan bahwa aliran darah pada lapisan dalam retina (ungu) diproyeksikan kedalam kompleks RPE (ditunjukkan oleh panah putih) yang disebut " artefak proyeksi" Software memproses gambar secara terpisah antara vitreous, lapisan retina bagian dalam, lapisan retina luar, dan lapisan koroid bersama ILM dan batas luar lapisan plexiform dalam (IPL), OPL, dan BM (di tandai garis hijau). Aliran maksimum proyeksi atau refleksi rata-rata digunakan untuk memproduksi gambar. (B) Angiogram vitreous menunjukkan tidak adanya aliran pembuluh darah. (C) Angiografi lapisan dalam retina bagian superfisial menunjukkan sirkulasi retina normal dengan zona avaskulaer fovea. Artefak residu dalam bentuk garis horizontal terlihat pada sebelah atas angiogram. (D) Angiogram lapisan retina bagian dalam menunjukkan plexus retina bagian dalam. (E) Pada iris retina bagian luar menunjukkan neovaskularisasi (CNV) sepanjang proyeksi artefak pada sirkulasi retina. (F) Angiogram Koriokapiler. (G) Struktur permukaan dalam koroid. (H) Deteksi CNV menggunakan pendekatan saliency-based. (I) Angiogram pada retina bagian dalam (ungu) dan CNV (kuning).⁵⁹

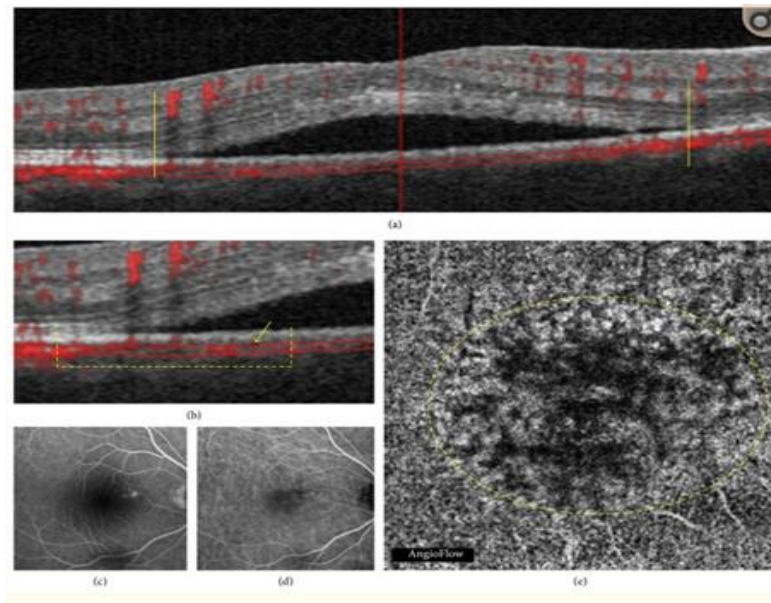
Gambaran OCTA untuk kelainan retina, antara lain :

1. Retinopati Diabetik



Gambar 143. OCTA pasien dengan Retinopati diabetik. Pandangan multi scan dari OCTA pada pria 52 tahun dengan diabetes tipe 1 dan retinopati diabetic nonproliferatif (NPDR) pada awal dan setelah setiap injeksi. Tanda panah menunjukkan eksudat di pleksus kapiler superfisial di angioflow dan OCT.⁶⁰

2. Korioretinopati Serosa



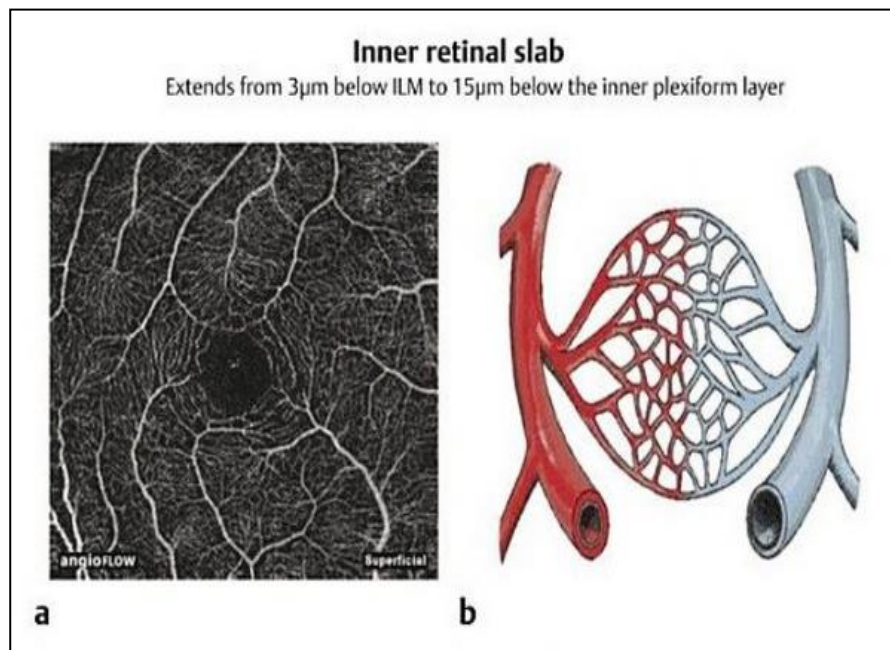
Gambar 144. Korioretinopati serosa.

Korioretinopati serosa akut pada pria 48 tahun. Hubungan antara optic koherensi tomografi (OCT), OCT angiografi (OCTA), fluoresens angiografi (FA), dan indocyanin egree n angiography (ICGA). (A) OCT B-scan: garis vertical yang berwarna kuning menunjukkan retina serosa yang mengalami detachment (SRD). (B) Detail dari OCT B-scan: garis putus-putus yang berwarna kuning menunjukkan area transisi antara non-SRD dan area SRD; tanda panah kuning menunjukkan area yang alirannya berkurang. (C) Faseakhir FA: hiperfluoresen yang bocor. (D) Fase awal dari ICGA: dilatasi pembuluh darah koroid yang abnormal. (E) OCTA pada chorio capillaris: lingkaran kuning menggambarkan area yang mengalami penurunan aliran darah yang jelas, yang disebut area gelap.⁶¹

3) PENILAIAN OCT ANGIOGRAFI

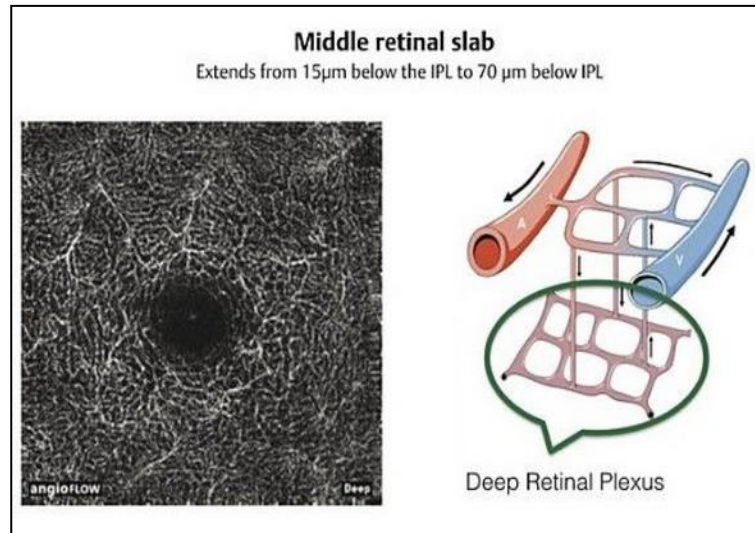
Software AngioVue pada mesin Optovue OCTA membagi volume kotak menjadi 4 bagian yang tercetak dalam sebuah lembaran hasil pemeriksaan.³¹

1. Bagian retina dalam, yang terbentang mulai dari 3 μ m di bawah lapisan membrane limitan interna hingga 15 μ m di bawah lapisan pleksiform dalam. Menggambarkan lokasi anatomi plexus vaskuler retinal superficial, umumnya dapat dilihat pada pemeriksaan *fundus fluorescein angiografi*.



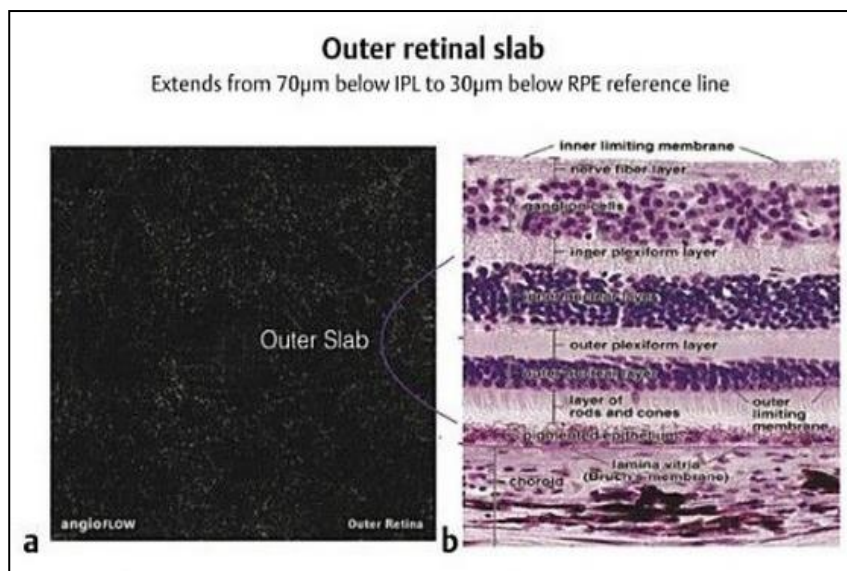
Gambar 145. Penilaian OCTA pada bagian retina dalam (System Optovue's AngioVue). (a)Gambaran OCTA yang terlihat sangat mirip dengan tampilan yang terdapat pada pemeriksaan fluorescein angiografi; (b)Struktur anatomi permukaan plexus vaskuler retina

2. Bagian retina tengah, yang terbentang mulai 15 μ m di bawah lapisan pleksiform dalam hingga 70 μ m di bawah lapisan pleksiform dalam, serta menggabungkan daerah dari plexus kapiler retina profunda. Tampilan plexus ini kurang bagus pada pemeriksaan fluorescein angiografi dan sangat bagus tampilannya pada pemeriksaan OCTA.



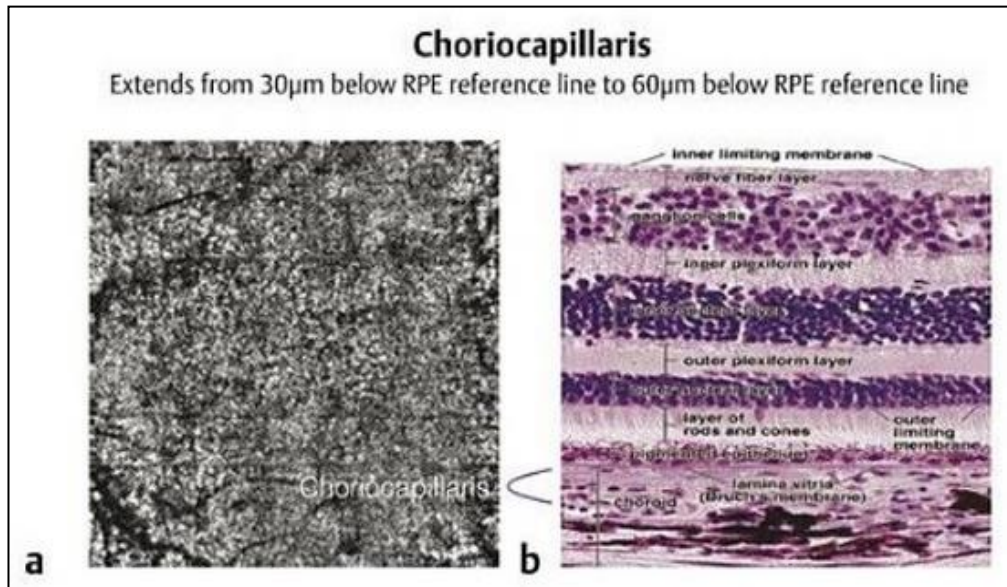
Gambar 146. Penilaian OCTA pada bagian retina tengah (System Optovue's AngioVue).
(a) Gambaran OCTA yang menampilkan pleksus vaskularisasi retina profunda pada detail yang tidak ditemukan pada pemeriksaan fluorescein angiografi. Tampilan pleksus retina profunda ini adalah salah satu kemampuan baru yang lebih unggul pada pemeriksaan OCTA; (b) Tampilan anatomi plexus retina profunda

3. Bagian retina luar, yang terbentang mulai 70 μ m di bawah lapisan pleksiform dalam hingga 30 μ m di bawah lapisan retinal pigmen epitelium (RPE). Merupakan bagian anatomi retina dimana pada keadaan normal pada area ini tidak terdapat pembuluh darah, bagian ini memberi gambaran area kosong, tanpa gambaran, kecuali pada keadaan patologik.



Gambar 147. Penilaian OCTA pada bagian retina tengah (System Optovue's AngioVue).
(a) Gambaran OCTA yang menampilkan sebuah kotak kosong pada individu normal, dimana pada bagian ini tidak ada ditemukan vaskularisasi pada sebuah gambaran retina yang normal; (b) Gambaran lapisan anatomi pada bagian retina luar.

4. Koriokapillaris, yang terbentang mulai 30 μ m di bawah lapisan retinal pigmen epitelium (RPE) hingga 60 μ m di bawah lapisan retinal pigmen epitelium (RPE). Merupakan gabungan dari koriokapillaris dan dapat mendeteksi dini kelainan tipe-1 (sub-RPE) membrane neovaskular koroidal.



Gambar 148. Penilaian OCTA pada bagian khoriokapillaris (System Optovue's AngioVue). (a)Gambaran OCTA yang menampilkan signal dekorelasi berbintik-bintik yang menggambarkan aliran darah pada koriokapillaris; (b)Gambaran anatomi dari bagian ini adalah yang berwarna ungu.

Sebagai catatan, zona autosegmen ini terkadang gagal memberi tampilan area patologik dapat disebabkan karena suatu keadaan patologik pembuluh darah, misalnya pada keadaan pembuluh darah tidak terisi penuh atau bahkan disebabkan karena pengisian berlebihan dalam aliran pembuluh darah tersebut. Oleh karena itu, memperhatikan teliti manipulasi manual dari batas bagian/lapisan merupakan hal terbaik untuk melihat luas dan fisiologi kompleks membran neovaskularisasi khoriokapillari.³¹

KESIMPULAN

Fluorescein angiografi adalah sebuah tindakan invasif yang menggunakan pewarna kontra melalui intravena dan pengambilan gambar dilakukan membutuhkan waktu selama 10-30 menit. Hasil pemeriksaan ini ditampilkan dalam gambaran 2-dimensi yang mampu menampilkan gambaran yang dinamis aliran darah dalam sebuah bidang lapang pandang yang luas. Oleh karena itu, pola pewarnaan tentang kebocoran, penggumpalan, dan pewarnaan dapat terdokumentasikan dengan baik.^{31,32}

Fluorescein angiografi merupakan pemeriksaan utama untuk mendeteksi neovaskularisasi koroidal (CNV), neovaskularisasi retina serta neovaskularisasi pada diskus optik (NVD), serta neovaskularisasi pada daerah lain dalam retina. Namun, kelainan patologik dari retina dapat tersamarkan oleh kebocoran yang diakibatkan perdarahan atau kekeruhan media refrakta, dan penggambaran lokasi pada daerah profunda tampilan lesi dan ukuran dari neovaskularisasi tersebut sulit untuk ditentukan disebabkan oleh kebocoran kontras dan stereopsis yang kurang, serta modalitas gambar tidak ditampilkan secara mendalam. Dalam hal ini, pengambilan gambar segmental per lapis tidak mungkin dilakukan pada pemeriksaan FFA.³²

PENUTUP

Pemeriksaan penunjang pada retina yang dibahas pada bagian ini terdiri dari tiga modalitas utama yaitu USG, FFA dan OCT dimana ketiga metode ini memiliki keunggulan dan keterbatasan masing-masing.

Ultrasound menyediakan informasi mengenai penyakit yang telah dideteksi dari pemeriksaan oftalmik sebelumnya. *Ultrasound* merupakan metode yang sangat cepat, sederhana dan non-invasif dalam menggambarkan struktur posterior bola mata. Alat ini dapat menghasilkan gambar yang dinamis dengan resolusi tinggi.

FFA adalah pemeriksaan yang pada praktiknya cukup komprehensif namun bersifat invasif, relatif mahal, dan membutuhkan banyak waktu. Pemeriksaan ini tidak ideal digunakan untuk pengaturan klinis yang sibuk. Meskipun dianggap aman, zat pewarna kontras dapat memberikan resiko mual sebagai respon alergi, seperti reaksi anafilaksis pada sebagian kasus. Selain dari kemungkinan alergi yang mungkin meningkat dengan frekuensi paparan penggunaan zat kontras, kontraindikasi pemeriksaan ini adalah ibu hamil dan pasien dengan penderita gangguan fungsi ginjal. Untuk evaluasi pasien yang membutuhkan follow up pemeriksaan yang sering atau yang tidak bisa mentoleransi pemakaian zat warna intravena, dapat disarankan teknik pemeriksaan non-invasif untuk melihat pembuluh darah retina dan koroid.

Pemeriksaan OCT/OCTA menyediakan informasi aliran darah pada titik waktu yang tetap. Meskipun kebocoran kurang bermakna, pengukuran delineasi dan pengukuran lesi dapat diperoleh pada pemeriksaan patologi seperti pada kasus CNV. OCTA menyediakan informasi bersamaan mengenai struktur dan fungsi dari aliran darah. Keunggulannya adalah bahwa pemeriksaan OCT *B scan* dapat dilakukan bersamaan dengan OCTA sehingga pemeriksa dapat menggulir pemeriksaan seperti sebuah tampilan kubus. Sebagai hasil, lokasi patologis yang tepat dapat ditampilkan sesuai gambaran OCT *B-scan*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Goel SK., Diagnostic Ultrasonography of the Eye, New Delhi. April 2011;
2. Bentley E., Ophthalmic *Ultrasound*, School of Veterinary Medicine, usg bUniversity of Winsconsin, Medison., Page 1-16.2015;
3. Silverm RH., High-resolution *ultrasound* imaging of the eye - a review. Published in final edited form as: *Clin Experiment Ophthalmol*. New York, USA .; 37(1): 54-67. 2009 January.
4. American Academy of Ophthalmology. *B scan* Ultrasonography, in Section 12- Retina and Vireus, Page 61-2. 2016;
5. Polo MD, et al, Ocular ultrasonography focused on the posterior eye segment. 2016. Page 1-14
6. Aaron Fairbanks BS, Lorraine Myers (Provencher) MD, William Flanary MD, Laura Warner, H. Culver Boldt MD. *Ocular Ultrasound: A Quick Reference Guide for the On-Call Physician*, Published February 4, 2016. Available at www.EyeRounds.org
7. R. E. Correa Soto, K. müller campos, D. Palominos Pose., Ultrasonography of the eyeball. What a radiologist needs to Know. In European Society of Radiology. 2015. Page 1-36
8. Deepak G. Bedi, Daniel S. Gombos, Chaan S. Sanjay Singh. *Sonography of the Eye*. 2006. Page 1-12;
9. David S, Alexander L, Ringeisen MD, *Ophthalmologic Ultrasound*.
10. *Eye and Orbit Ultrasounds*.
11. Rhonda G W; Timothy Jang, MD., *B scan Ocular Ultrasound*. Updated: May 09, 2016.
12. Derek Urban, OD, Jennifer Ramey, OD, Ryan Bunch, OD, and Nathan Lighthizer, OD. Published March 15, 2016.
13. Chan V, Perlas A (2011) Basic of *ultrasound* imaging. Ed *Atlas of Ultrasound-Guided Procedures in Interventional Pain Management*. 13-19.
14. Coleman J., Silverman RH., et al, *Ultrasonography Of The Eye And Orbit*, 2nd Edition, Chapter 1-3, Lippincot Williams &Wilkins, Page 1-61, USA, 2006.

15. Otto CM. Principles of echocardiographic image acquisition and Doppler analysis. In: *Textbook of Clinical Ecocardiography*. 2nd ed. Philadelphia, PA: WB Saunders; 2000:1-29.
16. Neema HV., Neema N., Diagnostic Procedures In Ophthalmology, 1st Edition, Chapter 12-13, Page 80-155, New Delhi, 2002.
17. Atta H., Ophthalmic *Ultrasound*, Churchill Livingstone, Singapore, 1999.
18. Hewick S., Fairhead A., Culy J. et al, A Comparison Of 10 MHz And 20 MHz *Ultrasound* Probes In Imaging The Eye And Orbit, British Journal Of Ophthalmology, page 88;551-5, 2004;
19. Anonymous, *A scan* Biometry, 2007, Available At www.emedicine.com/oph/ascan , Accessed On June 2015.
20. Diagnostic Procedures in Ophthalmology, 1th Ed, New Delhi., 2002. Page 158-9
21. Singh A., Hayden B., Pavlin C., *Ultrasound Clinic*, Elsevier, 2008, Available At www.ultrasoundclinic.com, Accessed on June 2015.
22. Carero J., Flores I., Galano M., et al, *B scan* Ultrasonography to Screen for Retinal Tears in Acute Symptomatic Age-Related Posterior Vitreous Detachment, Ophthalmology, Page 116; 94-9, 2009.
23. Lizzi F., Coleman J., History Of Ophthalmic *Ultrasound* in *J Ultrasound Med*, Weill Medical College of Cornell University, New York-USA, 2004, Available at www.jultrasoundmed.org/cgi/content/full/23/10/1255 , Accessed on April 15.
24. Kanski JJ., *Clinical Ophthalmology : A System Approach*, 6th Edition, Page 44-46, Butterworth Henneman, 2006.
25. Khurana AK., *Clinical Methods In Ophthalmology*, 4th Edition, Page 43-44, 2007.
26. Garcia J., Garcia P., Rosen R. et al, A 3-Dimensional *Ultrasound* C-Scan Imaging Technique For Optic Nerve Measurements, Page 111;1238-43, Ophthalmology, 2004

27. Bernard A., Zourdani A., Perrenoud F., et al, Stage 3 Macular Hole: Role Of Optical Coherence Tomography And *B scan* Ultrasonography, American Journal Of Ophthalmology, 139;814-9.
28. Dibernado C., Schachat A., Fekrat S., Ophthalmic *Ultrasound: A Diagnostic Atlas*, Thiemes Medical Publisher, USA, 1998.
29. Agarwal Amar. Principles, procedure, and terminology of fundus angiography. In : Fundus and indocyanin green angiography. Text book and atlas. Slack incorporated. 2008 : p17-20.
30. Chow, David R. de Oliveira, Paulo R Chaves. OCT Angiography. Thieme Publishers Stuttgart. 2017
31. Gao, Simon S. Jia, Yali, et al. Optical Coherence Tomography Angiography. IOVS. 2016 May, Vol. 57[9]
32. de Carlo, Talisa E. Romano, Andre. Waheed, Nadia K. Duker, Jay S. A Review of Optical Coherence Tomography Angiography. International Journal of Retina and Vitreous. 2015. [1-5]
33. Denniston, Alastair K.O. Murray, Philip I. On: Oxford Handbook of Ophthalmology. Oxford Medical Publications: 2014
34. Johnson R.N., schatz H, McDonald R.H, Ai E. Ryan J.S, editor. Fluorescein Angiography: Basic Principles and interpretation, in: Retina.third edition. Volume 2. St.Louis.Missouri: Mosby Company; 2001: p875-942
35. Cantor L.B, Skuta G.L, Weiss J.S.Diagnostic Approach to Retinal Disease. In: Basic and Clinical Science Course. Section 12: Retina and vitreous. San Francisco: AAO; 2015-2016: p51-7
36. Pinos J.Principles,procedure,and terminology of fundus fluorescein angiography. In : Amir A. Editor. fundus fluorescein and indocyanine green angiography. First edition. India: Slack company; 2008: p23-8
37. Won T.Y. Medical retina.in : the ophthalmology examinations review.singapore: Word Scientific Company ; 2001 : p165-217
38. Boyd S. Phases of fundus fluorescein angiography.In : Amir A. Editor. fundus fluorescein and indocyanine green angiography. First edition.India: Slack company; 2008: p29-35

39. Brad Bowling. Acquired macular disorders. In: Kanski Clinical ophthalmology a systematic approach. 8th Edition. Australia: Elsevier; 2016: p579-638
40. Diana. Fundus fluorescein angiography. Division of clinical sciences (online). Available from : <http://www.nlg.nhs.uk>.
41. Patil B, Puri P. Medical retina. In : Sundaram V, Barsam A, Alwitry A, Khaw P.T. Training in ophthalmology the essential clinical curriculum. USA: Oxford Specialty Training; 2008: 145-91
42. Bouma E. Brett, Tearney J. Guillermo. 2002. *Handbook of Optical Coherence Tomography*. Marcel Dekker: New York.
43. Arevalo J. Fernando, Krivoy D, Fernandez F.C. 2009. Retina angiografi and Optical Coherence Tomography. Springer Science: New York
44. Lumbaroso B, Rispoli M. 2009. *Guide to Interpretation Spectral Domain Optical Coherence Tomography*. Innovation-News Communication: Dublin.
45. Referano Agustiawan. 2011. Retina dari Pediatrik hingga Geriatrik, 3D OCT vs 2D OCT. Jakarta Eye Center: Jakarta.
46. Pierro L, Bracanto R. 2010. *Retinal and Vitreoretinal Diseases and Surgery in Introduction to Optical Coherence Tomography*. Jaypee - Highlights Medical Publishers: Panama.
47. Skuta L. Gregory. Cantor B. Louis. Weiss S. Jayne. 2011-2012. *Retina and vitreus. Diagnostic approach to retinal disease*. Section 2, AAO: San Fransisco.
48. Lihteh Wu, Evans Teodoros. 2010 *Medical Retina Focus Retinal on imaging*,. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: Berlin.
49. MS Li Yan. 2006. Corneal Pachymetry Mapping with OCT. *J Ophthalmology*. 113:792-799.
50. RH Michael. 2002. *Theory of OCT. Hand book of Optical Coherence Tomography*. Massachusetts Institute of Technology: Cambridge.

51. Steinert Roger. Huang David. 2008. *Interpretation of Anterior Segment Optical Coherence Tomography. Anterior Segment Optical Coherence*. SLACK incorporate: America.
52. Hoerauf Hans. 2002. *Optical Coherence Tomography in the Anterior Segment of the Eye*. Massachutes.
53. Puliafito A Carmen, Fujimoto G. James, Huang David et all. 2005. Principle of Operation and Technology Optical Coherence Tomography. *JSTOR*. 254: 1178-1180.
54. Fercher AF, Drexler W, Hitzenberge C K. 2003. Optical Coherence Tomography - Principles and application. *J Report on Progress in physic*. 66; 239-303.
55. Vuong N Laurel, Duker S Jay. 2008. The Use of Optical Coherence Tomography in the Management of AMD. *J Medscape Ophthalmology*. 29;1-4.
56. Mazzarella Jarett, 2015. The Anatomy of an OCTAA scan. Review of Optometry.
57. Hagag, Ahmed M. Simon S. Gao, Yali Jia, David Huang. 2017. Optical coherence tomography angiography: Technical principles and clinical applications in ophthalmology. Taiwan J Ophthalmol.
58. Sousa, David Cordeiro. 2017. Optical Coherence Tomography Angiography. AAO. Eyewiki.
59. Gao, Simon S. Yali Jia, Miao Zhang, Johnny P. Su, Gangjun Liu, Thomas S. Hwang, Steven T. Bailey, and David Huang. 2016. Optical Coherence Tomography Angiography. Casey Eye Institute, Oregon Health & Science University. Oregon. USA.
60. Matecka, Katarzyna Michalska. Anna Heinke Knudsen. 2017. Optical coherence tomography angiography in patients with diabetic retinopathy treated with anti-VEGF. intravitreal injections. Clinical Case Report.

61. Costanzo, Eliana. 2015. Optical Coherence Tomography Angiography in Central Serous Chorioretinopathy. *Journal of Ophthalmology*. University Scientific Institute San Raffaele, Milan, Italy.

INDEX

A

ablasia retina, 20
aerial image, 68, 70, 72
ANATOMI, 15
Apertura, 78
arcuate density, 26

B

background noise, 112
Backscattering, 168
Biometri, 88, 100
blockage-barrier effect, 143
blood retinal barrier
BRB, 39
bordering, 114
Bruch, 13, 20, 22

C

choroidal flush, 142
Coat's disease, 125
cone-opsin, 45
cones, 12, 15, 16, 17, 18, 24, 25, 29, 34,
45, 46, 48
cyclic Guanosine Monophosphate, 43
cystoid macular edema, 162, 167

D

dendritic field, 30
Dentuman Baum, 116
Drusen, 22

E

EMBRIOLOGI, 11

F

Fas-expressing, 38
fiber layer of chievitz, 12, 15
Fibroblast Growth Factor, 36, 37
Filter, 61, 78
filter dial, 65
flicker, 48
focusing lever, 65, 66
forehead rest, 65
fourier-domain, 152, 176

Fundus drawing, 82, 83
fundus fluorescein angiography, 21

G

Gain, 96
GTPase transdusin intrinsic, 44
Guanilat siklase, 44
guanilat siklase (GCAPs), 44

I

impending macular hole, 170
indentor, 76, 77, 83
inner marginal zone, 12

L

laminar filling, 143
Lapisan inti dalam, 48
Lapisan inti luar, 48
Lapisan plexiform dalam, 48
Lapisan plexiform luar, 48
Lapisan sel ganglion, 23, 48
Lapisan serat saraf, 48

M

macula lutea, 16
macular holes full thickness, 170
marginal zone, 12
Membran Limitans externa, 48
mitosis, 11, 12, 21
monocyte chemotactic protein-1
MCP-1, 38

N

nervus optik, 46
neural crest, 13
neuroektodermal, 11
Neuroepithelium, 11
neurosensory detachment, 168
neurovascular coupling, 47
nitric oxide, 46

O

optic cup, 10, 11, 13, 14, 21
optic pits, 13
optic ventricle, 12

optical beam splitter, 149
ora serrata, 15, 19, 21, 36

P

patchy choroidal filling., 142
persistent hyperplastic primary vitreous,
124
Posterior vitreous detachment, 118, 119
Primitive zone, 11

R

reference mirror, 149
renin angiotensin, 47
retina, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19,
20, 23, 25, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35,
36, 37, 38, 39, 40, 42, 46, 47, 48
Retinal pigment epithelium
RPE, 11, 13
retinoid binding protein, 39, 40
retinol, 39, 40
Retinopathy of prematurity, 125
rheostat, 65, 72
Rhodopsin, 43, 44
Rods, 25
RPE, 13, 14, 15, 19, 20, 21, 22, 24, 34, 36,
37, 38, 39, 40, 41, 48

S

sawar darah retina, 34
scatter, 95
sel amakrin, 12, 23, 26, 28, 30
sel bipolar, 12, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29,
31, 32, 37

sel endipimal, 11
sel ganglion, 12, 13, 15, 17, 19, 23, 26, 28,
31, 32, 37
sel horizontal, 13, 22, 23, 25, 26, 29, 45
sel mato, 35
sel Muller, 12, 22, 23, 24, 32, 33, 34
sel mural, 34, 35
sel neuroblastik, 12
Sel perisit, 35
sel rougat, 35
Serous detachments, 168
Siklus visual, 39
sound beam, 95
speed time-domain systems, 176

T

Tumor necrosis factor- α
TNF- α , 38

U

Umbo, 19

V

vascular endothelial growth factors (VEGF),
36
vitreus, 12, 14, 15, 18, 24

Z

zinn vaskuler circle, 141

BIOGRAFI PENULIS



dr. Andi Muhammad Ichsan, Ph.D, Sp.M (K) lahir di Ujung Pandang tanggal 12 Februari 1970 sebagai anak ke-4 dari 4 bersaudara. Penulis adalah dokter spesialis mata dengan sub-spesialisasi dalam bidang vitreoretina yang lulus dari Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin, kemudian melanjutkan studi dan mendapatkan gelar doktor bidang *Medical Science* di Toyama University, Jepang. Saat ini, penulis sehari-hari menjalankan aktivitas sebagai dosen sekaligus Ketua Departemen Ilmu Kesehatan Mata di Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin, serta menjadi staf senior dokter ahli mata di RSPTN Universitas Hasanuddin.

Penulis merupakan akademisi, klinisi dan peneliti yang aktif memberikan kontribusi dalam bidang Ilmu Kesehatan Mata, diantaranya melalui penerbitan beberapa judul buku dan artikel/ karya tulis ilmiah dalam jurnal nasional maupun internasional terakreditasi. Sepanjang karir penulis, berbagai pelatihan, seminar, workshop dan konferensi telah diikuti baik yang diselenggarakan secara nasional maupun skala internasional. Disamping itu, penulis juga merupakan reviewer pada Komisi Etik Penelitian Kesehatan FK-UNHAS serta peer review pada beberapa jurnal ilmiah terakreditasi. Pada tahun 2005, penulis berhasil mendapatkan penghargaan sebagai “*Young researcher in the Ophthalmological field*” dari Toyama University, Jepang dan “*Yasuo Tano Award*” dari Asia Pacific Association of Ophthalmologist tahun 2010 sebagai peneliti aktif dalam bidang Ilmu Kesehatan Mata. Pada tahun 2018-2019, penulis mendapatkan kesempatan mewakili Indonesia dalam *event* Asia Pacific Vitreo Retinal Society (APVRS) *Leadership Development Program*.

Selain menjalani profesi rutin sebagai klinisi, penulis juga aktif dalam berbagai organisasi eksternal seperti Ikatan Dokter Indonesia, Kolegium Ilmu Kesehatan Mata Indonesia (KIKMI) dan juga sebagai Ketua Perhimpunan Dokter Spesialis Mata Indonesia (PERDAMI) Sulawesi Selatan.

ANDI MUHAMMADI CHASAN

KOMPREHENSIF RETINA



Penerbit:



Gedung LFT Unhas Press
Kampus Unhas Tamaleneas, Jl. Perintis Kemerdekaan Km.10
e-mail: unhaspress@gmail.com
Makassar