

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Miopia merupakan salah satu kelainan refraksi dimana objek pada jarak tak terbatas difokuskan di depan retina pada kondisi akomodasi yang rileks. Sebagian besar miopia bersifat miopia aksial, yang disebabkan oleh pemanjangan *axial length (AL)* bola mata. Setiap peningkatan panjang aksial sekitar 1 mm dapat menyebabkan pergeseran refraksi sebesar ± 3 dioptri. Sejak lahir hingga usia 6 tahun, *AL* mata berkembang sekitar 5 milimeter. Oleh karena itu, prevalensi miopia tinggi pada anak-anak (Brodie Scott E, et al 2023).

Prevalensi miopia terus meningkat secara global. *World Health Organization (WHO)* melaporkan bahwa pada awal dekade 2020-an sekitar 30% populasi dunia mengalami miopia, dengan lebih dari 312 juta anak dan remaja usia 5-19 tahun terdampak, serta menunjukkan tren peningkatan yang signifikan dari tahun ke tahun. (World Health Organization. 2024) Kondisi ini menjadikan miopia sebagai masalah kesehatan masyarakat yang penting, mengingat kelainan refraksi yang tidak terkoreksi masih merupakan salah satu penyebab utama gangguan penglihatan di dunia, terutama di wilayah dengan keterbatasan akses pelayanan kesehatan mata. (Naidoo dkk. 2016) Selain itu, pada sebagian individu, miopia dapat berkembang menjadi miopia patologis yang berisiko menimbulkan komplikasi okular serius, termasuk keterlibatan retina dan saraf optik (Wong dkk. 2014)

Sejak awal abad ke-19, telah dikemukakan hipotesis bahwa perubahan diskus optik pada miopia yang didapat berkaitan dengan peregangan mekanis progresif pada bagian posterior bola mata. Pemanjangan *AL* menyebabkan ketidaksesuaian antara lapisan sklera dan kompleks vitreoretina, yang berhubungan dengan munculnya *crescent temporal* atau *β -zone parapapillary atrophy (PPA)* sebagai manifestasi atrofi korioritina.

Selain itu, pergeseran jaringan peripapil retina diperkirakan menimbulkan elevasi relatif pada sisi nasal (*supertraction*) dan perataan pada sisi temporal (*dysraction*) diskus optik, sehingga menghasilkan gambaran diskus yang *tilting* (Tan dkk. 2019).

Pada mata dengan miopia, terutama sejak fase awal pergeseran miopia, sering ditemukan perubahan morfologi diskus optik berupa diskus yang *tilting* disertai *crescent temporal* dan *parapapillary atrophy (PPA)*, yang berkaitan dengan *tilting optic nerve head (ONH)* secara progresif seiring peningkatan derajat miopia dan pemanjangan AL (Kim dkk. 2012). Sejumlah studi menunjukkan bahwa peningkatan derajat miopia yang dinilai melalui *spherical equivalent (SE)* berhubungan secara independen dengan perubahan ONH dan PPA (Park dkk. 2015). Seiring bertambahnya derajat miopia dan AL, prevalensi diskus optik yang *tilting* serta perubahan awal retina, termasuk PPA, dilaporkan semakin tinggi, terutama pada populasi anak dan remaja Asia, dan kondisi ini diduga berperan dalam peningkatan risiko glaukoma. (Samarawickrama dkk. 2011)

Evaluasi struktural ONH dan struktur peripapil menjadi tantangan pada miopia. Oleh karena itu, sering kali sulit untuk mendiagnosis glaukoma (yang dapat menjadi predisposisi miopia pada mata miopia. Kondisi glaukoma lebih sering terjadi pada miopia, dimana arah *tilting* atau torsi diskus sesuai dengan lokasi hilangnya *retinal nerve fiber layer (RNFL)* atau defek lapangan pandang (Shen dkk. 2016).

Evaluasi struktural diskus optik dan jaringan peripapil pada mata miopia menjadi tantangan klinis karena perubahan morfologi akibat miopia dapat menyerupai gambaran glaukomatosa. Dalam praktik klinis, pemeriksaan *Optical Coherence Tomography (OCT)* digunakan untuk menilai parameter diskus optik dan ketebalan RNFL secara kuantitatif dan *non-invasif*, termasuk pada populasi anak (Creavin AL et al 2016). Namun, pemanjangan AL menyebabkan pergeseran profil ketebalan RNFL ke arah temporal, yang dapat menimbulkan temuan positif palsu berupa penipisan RNFL superior dan inferior pada mata miopia non-glaukoma, serta

underdiagnosis defek *RNFL* temporal. Pada miopia derajat tinggi, *RNFL* temporal cenderung lebih tebal, sedangkan *RNFL* pada sektor non-temporal relatif lebih tipis dibandingkan miopia derajat rendah, sehingga interpretasi hasil OCT pada anak dengan miopia memerlukan kehati-hatian (Shin dkk. 2015; Kim MJ et al 2010).

Perubahan struktur diskus optik dan *RNFL* pada anak dengan miopia menunjukkan karakteristik yang kompleks dan dapat menyerupai gambaran glaukوماتosa, sehingga menimbulkan tantangan dalam interpretasi klinis. Derajat miopia dan pemanjangan *AL* berperan penting dalam memengaruhi morfologi diskus optik serta distribusi ketebalan *RNFL*, namun pola perubahan struktural tersebut belum sepenuhnya dipahami pada populasi pediatrik. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi struktural yang sistematis dan objektif menggunakan *OCT* untuk menggambarkan perbedaan parameter diskus optik dan *RNFL* berdasarkan derajat miopia pada anak.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dalam latar belakang yang telah dikemukakan, dapat dirumuskan pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana analisis perbandingan gambaran diskus optik pada anak dengan berbagai derajat miopia dengan menggunakan *OCT* ?

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1. Tujuan Umum

Menganalisis perbandingan gambaran diskus optik pada anak dengan berbagai derajat miopia menggunakan *OCT*

1.3.2. Tujuan Khusus

1. Menganalisis perbandingan gambaran ketebalan *RNFL* pada anak dengan berbagai derajat miopia
2. Menganalisis perbandingan gambaran *disk area*, *cup area*, *rim area* dan *CDR* pada anak dengan berbagai derajat miopia
3. Menganalisis hubungan antara perubahan ketebalan *RNFL* dan *CDR* terhadap *TIO* pada anak dengan berbagai derajat miopia
4. Menganalisis perbandingan gambaran *AL* dan *CCT* pada anak dengan berbagai derajat miopia

1.4 Hipotesis Penelitian

1. Terdapat perbedaan gambaran ketebalan *RNFL* pada anak dengan berbagai derajat miopia yaitu semakin tinggi derajat miopia anak, maka lapisan *RNFL* akan semakin menipis, kecuali sisi temporal yang menebal
2. Terdapat perbedaan gambaran *disk area*, *cup area*, *rim area* dan *CDR* pada anak dengan berbagai derajat miopia yaitu Semakin tinggi derajat miopia anak, maka *cup area* dan *disc area* akan semakin membesar, sedangkan *rim area* semakin mengecil
3. Terdapat hubungan antara perubahan ketebalan *RNFL* dan *CDR* terhadap *TIO* pada anak dengan berbagai derajat miopia
4. Terdapat perbedaan *AL* dan *CCT* pada anak dengan berbagai derajat miopia yakni Semakin tinggi derajat miopia anak, maka *AL* akan semakin panjang dan *CCT* akan semakin tipis

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini akan memberikan manfaat sebagai berikut:

1.5.1 Bagi peneliti

1. Sebagai sarana untuk menambah wawasan mengenai gambaran

diskus optik pada anak dengan berbagai derajat miopia serta mampu membuat penelitian berdasarkan metode penelitian yang baik dan benar.

2. Sebagai sarana menerapkan dan memanfaatkan ilmu yang didapat selama pendidikan, serta ilmu yang diperoleh juga akan membantu dalam edukasi dan rencana tatalaksana yang lebih spesifik ke pasien atau keluarga pasien mengenai gambaran diskus optik pada anak dengan berbagai derajat miopia

1.5.2 Bagi pasien

Pengetahuan yang didapat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dalam mendeteksi gambaran diskus optik pada anak dengan berbagai derajat miopia sehingga dapat meningkatkan kualitas hidup dan mencegah perburukan kondisi pasien kedepannya terutama kondisi glaukoma.

1.5.3 Bagi institusi

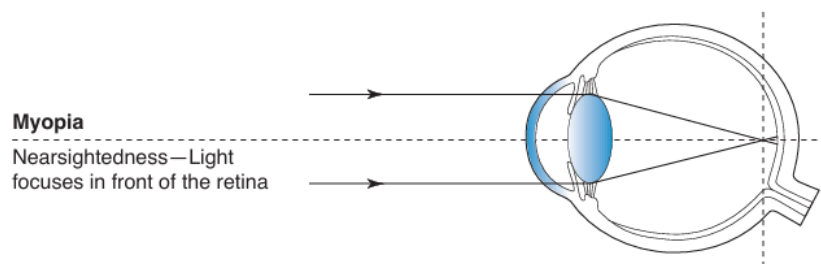
1. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai perbandingan gambaran diskus optik pada anak dengan berbagai derajat miopia.
2. Penelitian ini diharapkan menjadi dasar pertimbangan parameter dalam mendeteksi awal perubahan diskus optik (ketebalan *RNFL*, *disc area*, *cup area*, *rim area* dan *CDR*) pada anak dengan berbagai derajat miopia untuk mencegah kondisi perburukan dari miopia yakni risiko glaukoma
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan untuk penelitian lebih lanjut mengenai perbandingan gambaran diskus optik pada anak dengan berbagai derajat miopia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi

Miopia didefinisikan sebagai ketidaksesuaian antara kekuatan refraksi media refrakta dengan panjang sumbu bola mata dimana berkas sinar paralel yang masuk berkonvergensi pada satu titik fokus di depan retina ketika mata tidak berakomodasi. Kelainan ini bisa dikoreksi dengan lensa divergen atau lensa minus (pada gambar 9). (Spraul C W, Lang G K. 2000)



Gambar 2.1 Mata Miopia

Sumber : (Brodie Scott E, et al 2023). *Clinical Optics and Vision Rehabilitation*. American Academy Of Ophthalmology

Ada dua jenis miopia pada masa kanak-kanak : miopia kongenital (biasanya berat) dan miopia *developmental*, yang biasanya muncul antara usia 7 dan 10 tahun. Miopia *developmental* biasanya lebih ringan dan lebih mudah ditangani karena pasien sudah lebih tua dan pemeriksaan refraksi lebih mudah dilakukan (Brodie Scott E, et al 2023). Etiologi dari miopia terdiri dari : miopia aksial, miopia kurvatura, miopia posisional, miopia indeks dan miopia akibat akomodasi yang berlebihan. Pada anak- anak, miopia aksial merupakan etilogi paling sering terjadi akibat peningkatan panjang anteroposterior bola mata (AL) (Khurana, A.K., Khurana, I., 2017).

Berdasarkan *American Optometric Association (AOA)* pembagian miopia berdasarkan derajatnya terbagi atas tiga kategori (Khurana AK 2015) :

1. **Miopia ringan** (*levior*), jika *refractive error* ≤ -3.00 Dioptri (D)
2. **Miopia sedang** (*moderate*), jika *refractive error* antara -3.00 D hingga -6.00 D
3. **Miopia berat** (*gravior*), jika *refractive error* ≥ -6.00 D

Pembagian miopia berdasarkan *spherical equivalent* (SE) adalah cara mengklasifikasikan derajat miopia berdasarkan besarnya, dengan perhitungan menggunakan nilai dioptri dari lensa korektif yang diperlukan untuk mencapai penglihatan normal. SE adalah kekuatan lensa sferis yang setara dengan kekuatan rata-rata dari meridian utama pada lensa astigmatisme (Brodie Scott E, et al 2023; Morgan IG et al 2012)

Rumus SE sebagai berikut :

$$\text{Spherical Equivalent (SE)} = \text{Sphere} + \frac{1}{2} \times \text{Cylinder}$$

Dimana:

- *Sphere* adalah ukuran miopia atau hiperopia (dioptri)
- *Cylinder* adalah ukuran astigmatisme (dioptri)

Setelah SE dihitung, miopia dapat dibagi menjadi beberapa kategori umum berdasarkan besarnya:

1. Miopia Ringan (*Low Myopia*) : SE antara -0,50 D hingga -3,00 D
2. Miopia Sedang (*Moderate Myopia*) : SE antara -3,00 D hingga -6,00 D
3. Miopia Tinggi (*High Myopia*) : SE lebih dari -6,00 D

2.2 Epidemiologi

Menurut *WHO*, miopia merupakan kelainan refraksi yang paling sering ditemukan secara global dan menjadi salah satu penyebab utama gangguan penglihatan yang dapat dicegah. *WHO* melaporkan bahwa pada awal dekade 2020-an, sekitar 30% populasi dunia atau lebih dari 2,6 miliar penduduk mengalami miopia, dengan kecenderungan peningkatan yang signifikan terutama pada anak dan remaja (World Health Organization. 2024). Berdasarkan laporan *World Report on Vision* serta meta-analisis global yang digunakan sebagai dasar kebijakan, memperkirakan bahwa lebih dari 312 juta anak dan remaja usia 5–19 tahun di dunia mengalami miopia pada awal dekade 2020-an, dan jumlah ini terus meningkat setiap tahunnya (Liang J, et al. 2024). Di Amerika Serikat, prevalensi miopia diperkirakan sebesar 3% di antara anak-anak usia 5-7 tahun, 8% di antaranya berusia 8-10 tahun, 14% berusia 11–12 tahun, dan 25% di kalangan remaja usia 13-17 tahun. Pada kelompok etnis tertentu, tren serupa telah ditemukan, meskipun persentase dalam setiap kelompok usia mungkin berbeda. Anak-anak etnis Asia Timur memiliki tingkat miopia yang jauh lebih tinggi di semua usia. Sebuah studi di Taiwan, Cina, menemukan bahwa prevalensi miopia adalah 12% di antara anak-anak usia 6 tahun dan 84% di kalangan remaja berusia 16 hingga 18 tahun. Tingkat yang serupa juga ditemukan di Singapura dan Jepang. Pada tahun 2050, sekitar 4.758 juta orang, atau hampir setengah dari populasi global, diperkirakan akan menjadi miopia, dengan sekitar 10% di antaranya mengalami miopia tinggi (Brodie Scott E, et al 2023)

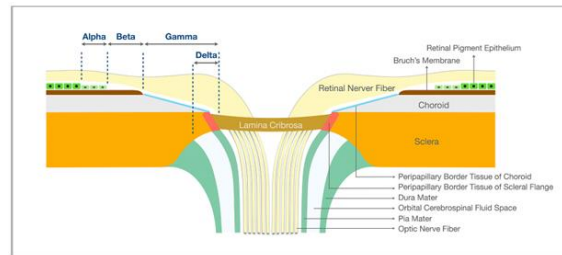
Prevalensi miopia pada anak di Indonesia dilaporkan bervariasi antara $\pm 5\%$ di daerah rural hingga sekitar 14–15% di wilayah urban dan semi-urban, berdasarkan studi berbasis sekolah yang dipublikasikan dalam periode 2018–2024 (Watu T, Handayani AT, Manuaba P. 2024; Barliana JD, et al. 2023). Meskipun glaukoma jarang terdiagnosis pada usia anak, miopia khususnya miopia sedang

hingga tinggi telah diketahui berhubungan dengan perubahan struktural diskus optik yang menyerupai fenotipe risiko glaukoma, seperti pemanjangan *AL*, penipisan *RNFL*, serta perubahan morfologi diskus optik pada pemeriksaan *OCT* (Jonas JB, et al. 2020). Studi global menunjukkan bahwa anak dengan miopia memiliki ketebalan *RNFL* yang lebih tipis dibandingkan anak emetrop, terutama pada kuadran superior dan inferior, yang dapat menyulitkan interpretasi dini glaukoma dan berpotensi meningkatkan kerentanan terhadap kerusakan glaukomatosa di usia dewasa (Qiu K, et al. 2016). Dengan meningkatnya prevalensi miopia anak di Indonesia, temuan ini menegaskan bahwa populasi anak miopia merupakan kelompok berisiko struktural terhadap glaukoma di masa depan, sehingga pemantauan parameter biometri okular dan *RNFL* sejak usia dini menjadi penting dalam strategi pencegahan dan deteksi dini glaukoma (Tan dkk. 2019)

2.3 Anatomi

2.3.1 Diskus Optik

Diskus optik adalah tempat akson sel ganglion terakumulasi dan keluar dari mata dan tempat masuknya arteri retina sentral dan tempat keluarnya vena retina sentral. Diameter horizontal diskus kira-kira 1,7 mm dan diameter vertikal kira-kira 1,9 mm. Diskus optik terletak pada jarak sekitar 4–5 mm (rata-rata: $4,76 \pm 0,34$ mm) dari fovea (pada mata emetropik) ke arah nasal yang sedikit superior (rata-rata sudut disk-fovea: $7,76 \pm 3,63$ derajat). Diskus optik adalah tempat akson sel ganglion terakumulasi dan keluar dari mata dan tempat masuknya arteri retina sentral dan tempat keluarnya vena retina sentral. Diameter horizontal diskus kira-kira 1,7 mm dan diameter vertikal kira-kira 1,9 mm. Lapisan terakhir ini ditutupi oleh lamina cribrosa yang memungkinkan masuk dan keluarnya akson sel ganglion retina serta pembuluh darah retina, sekaligus sebagian besar mencegah pertukaran cairan antara rongga vitreus di bagian dalamnya dan saraf optik serta ruang cairan serebrospinal (*CSF*) retrobulbar di bagian luarnya. Lamina cribrosa juga berfungsi sebagai penghalang tekanan antara kompartemen intravitreal dengan tekanan intraokular (*IOP*) yang berdenyut (lebih tepat disebut sebagai "perbedaan tekanan trans-kornea") dan kompartemen retrobulbar dengan tekanan *CSF* yang berdenyut (Wang dkk. 2021).



Gambar 2.2 Skematik Diskus Optik dan bagian sekitarnya

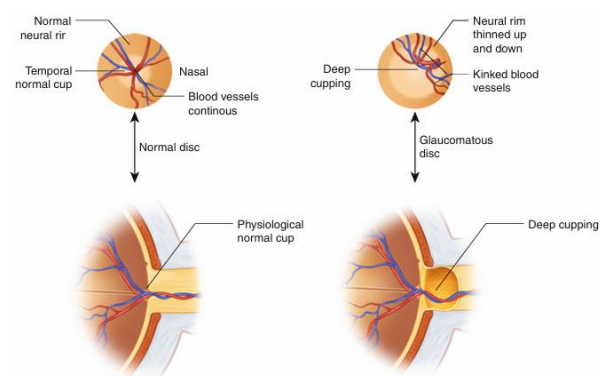
Tampak zona *alfa parapapillary* (*MB* masih ada, *RPE* tidak teratur), zona *beta* (*MB* masih ada, *RPE* tidak ada), zona *gamma* (*MB* tidak ada), dan zona *delta* (bagian dari zona *gamma*, yang berhubungan dengan *flange* sklera parapapillary yang memanjang dan menipis). Zona *gamma* terkadang mencakup beberapa pembuluh koroid besar. Jaringan batas *parapapillary* dari koroid menghubungkan ujung *MB* dengan jaringan batas parapapillary dari flange sklera, dan hanya ditutupi oleh *RNF*. Jaringan batas parapapillary dari flange sklera merupakan lanjutan dari piamater saraf optik.
(Wang, Panda-Jonas, Dan Jonas 2021)

Diskus optik berwarna merah muda (pucat) yang melingkar dengan diameter 1.5 mm. Warna diskus jarang berwarna merah muda yang sama dan menunjukkan beberapa variasi warna namun dalam batas normal. Pada diskus optik, semua lapisan retina berakhir kecuali serabut saraf yang melewati lamina cribrosa untuk menuju ke nervus optik. Dibandingkan dengan bagian retina lainnya, diskus optikus tampak pucat karena lamina cribrosa, serabut saraf yang bermedula di belakangnya dan tidak adanya pembuluh darah koroid. Di bagian tengah, dimana serabut saraf paling tipis, lamina putih bersinar lebih terang. Bintik abu-abu pada lamina, jika terlihat, disebabkan oleh serabut saraf yang tidak bermedula yang memantulkan lebih sedikit cahaya daripada serabut jaringan ikat berwarna putih (Khurana, A.K., Khurana, I., 2017).

Fisiologi *cup* dari diskus optik adalah cekungan yang terlihat di dalamnya. Pembuluh darah retina sentral muncul melalui bagian tengah *cup* ini. *Cup* ini bervariasi dalam ukuran, bentuk, posisi, dan kedalaman pada mata yang berbeda. Kadang-kadang, hampir tidak ada *cup*, dalam hal ini, *cup* berwarna merah muda yang lebih seragam

dan pembuluh darah sentral mungkin telah terbagi sebelum muncul ke permukaan. Peningkatan ukuran cup dan/atau perbedaan ukuran cup pada dua mata harus diperhatikan dan dinilai untuk menyingkirkan glaukoma (Khurana, A.K., Khurana, I., 2017).

CDR merupakan perbandingan antara diameter *cup* optik dan diameter diskus optik, merupakan pengukuran yang sering digunakan untuk menilai dan memantau perkembangan kerusakan glaukomatosa pada saraf optik (Jonas, J.B. et al 2000) . Nilai normal *CDR* adalah 0,3. *Cup* yang lebih besar dari normal bisa bersifat fisiologis atau indikasi glaukoma. Sedangkan *cup* menjadi penuh dapat ditemukan pada papil edema dan papilitis (AK Khurana 2015). *CDR* merupakan indikator utama dalam skrining glaukoma, selain defek *NFL* dan perdarahan diskus (Abe H, Shirakashi M, Tsutsumi T, Araie M, Tomidokoro A, Iwase A et al. 2009).



Gambar 2.3 Skematik diskus optik normal (kiri) dan glaukomatous (kanan) (Ansari dan Nadeem 2016)

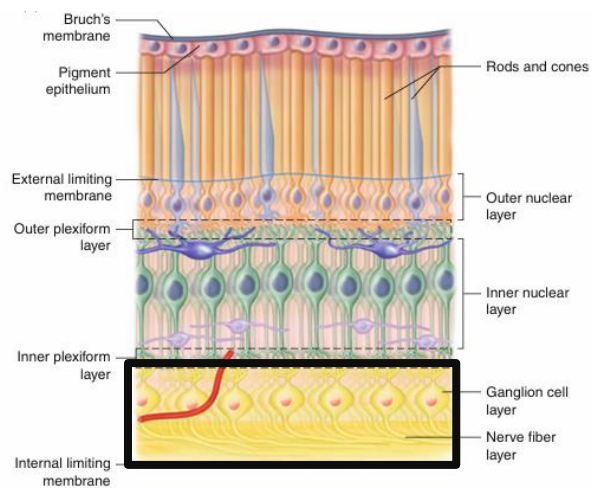
Jumlah serabut saraf tampaknya berkorelasi positif dengan ukuran diskus optik; diskus yang lebih besar memiliki serabut yang relatif lebih banyak daripada diskus yang lebih kecil. Diskus yang lebih kecil dapat menunjukkan kepadatan diskus optik. Jumlah serabut menurun seiring bertambahnya usia. Diskus optik tidak memiliki

semua elemen retina kecuali lapisan serabut saraf dan membran pembatas internal. Diskus optik berwarna lebih pucat dari pada retina di sekitarnya karena tidak ada RPE. Warna oranye-merah muda pucat atau salmon pada diskus optik merupakan kombinasi dari lamina cribrosa sklera dan jaringan kapiler. Pada beberapa individu, bukaan lamina cribrosa dapat terlihat melalui serabut saraf transparan (Remington, L.A., Goodwin, D 2022). Karena diskus tidak mengandung sel fotoreseptor, cahaya yang mengenai diskus tidak menimbulkan respons. Oleh karena itu, diskus mewakili *blind spot* fisiologis.

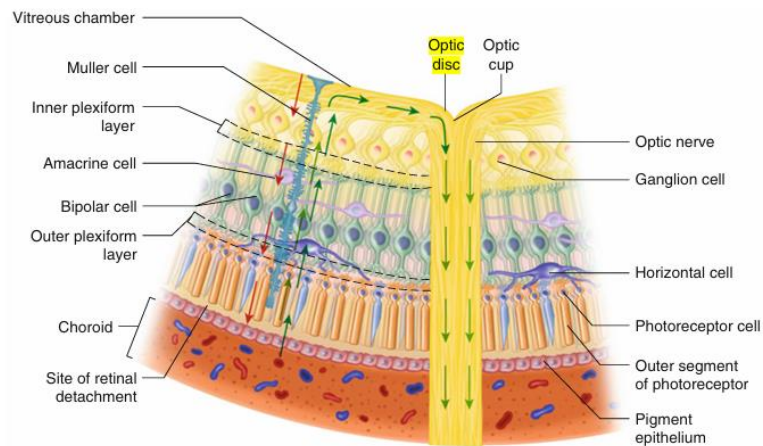
2.3.2 Retinal Nerve Fiber Layer (RNFL)

Susunan 10 lapisan retina adalah struktur yang luar biasa dari pengelompokan alternatif neuron retina. Secara umum dapat dilihat pada gambar 4 yang terdiri atas :

- Epitel pigmen retina
- Lapisan sel fotoreseptor
- Membran limitan eksterna
- Lapisan nuklear luar
- Lapisan plexiform luar
- Lapisan nuklear dalam
- Lapisan plexiform dalam
- Lapisan sel ganglion
- Lapisan serat saraf
- Membran limitan interna



Gambar 2.4 Lapisan retina secara skematik (area kotak hitam GCL dan RNFL)
(Ansari dan Nadeem 2016)



Gambar 2.5 Alur RNFL secara skematik pada diskus optik (panah hijau)
(Ansari dan Nadeem 2016)

Lapisan serabut saraf pada dasarnya terdiri dari akson sel ganglion yang tidak bermielin, yang menyatu di diskus optik, melewati lamina cribrosa dan diselubungi oleh mielin di belakang lamina. Selain akson sel ganglion (serabut saraf sentripetal), lapisan ini juga mengandung⁽¹⁵⁾

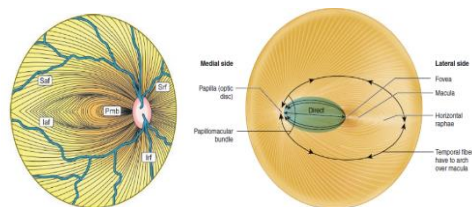
- Serabut saraf sentrifugal yang lebih tebal daripada serabut saraf sentripetal. Asal dan penghentiannya tidak diketahui secara pasti.

- Proses sel Muller yang berhubungan dengan akson sel ganglion.
- Sel-sel neuroglial yang ada di lapisan serabut saraf dikategorikan sebagai makroglia dan mikroglia. Makroglia dibentuk oleh dua jenis astrosit (berserat dan protoplasma) yang berasal dari puncak saraf. Mikroglia adalah sel-sel kecil yang berasal dari invasi mesodermal retina pada saat vaskularisasi. Makroglia memiliki peran struktural dalam retina sedangkan mikroglia berperan sebagai histiosit jaringan sebagai respons terhadap cedera jaringan dan debris-debris fagosit yang dibawa ke pembuluh darah untuk dikeluarkan dari retina.
- Pembuluh darah retina terletak di lapisan serabut saraf tetapi biasanya tidak muncul di permukaan retina. Lapisan ini kaya akan jaringan kapiler superfisial.

Jalur *NFL* sejajar dengan permukaan retina. Serabut-serabut ini menuju ke diskus optikus, berbelok pada sudut yang tepat dan keluar dari mata melalui lamina cribrosa sebagai saraf optikus. Serabut-serabut ini umumnya tidak bermielin di dalam retina. Lapisan serabut saraf paling tebal terdapat di tepi diskus optik, tempat semua serabut terakumulasi. Kelompok serabut yang menjalar ke diskus dari area makula disebut bundel papilomakula. Bagian yang paling tebal terdapat di kuadran medial atas dan bawah. Hal ini menjelaskan mengapa pembengkakan diskus optik (disebut papiledema) pertama kali terlihat di kuadran medial atas dan bawah yang lebih tebal, dan terakhir terlihat di bagian lateral langsung. Dari diskus, lapisan serabut saraf menjadi lebih tipis saat bergerak ke arah perifer, dan paling tipis di dekat ora serrata (Ansari dan Nadeem 2016). Pengelompokan serabut yang penting ini membawa informasi yang menentukan

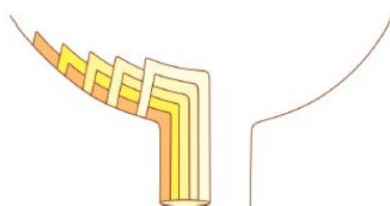
ketajaman penglihatan.⁽¹²⁾ Serabut saraf memiliki ketebalan yang bervariasi dari 0,5 hingga 2 μm dan tidak bermyelin.

Berbeda dengan serabut-serabut lain pada retina sensorik, yang berjalan tegak lurus terhadap permukaan retina, serabut-serabut di dalam lapisan serabut saraf berjalan sejajar. Serabut dari bagian nasal retina langsung menuju ke diskus optik sebagai serabut yang menjalar superior dan inferior. Serabut dari daerah makula masuk langsung ke bagian temporal diskus sebagai berkas papilomakular. Serabut dari lengkungan retina temporal di atas dan di bawah bundel makula dan papilomakula sebagai serabut arkuata superior dan inferior dengan raphe horizontal di antaranya.⁽¹⁵⁾



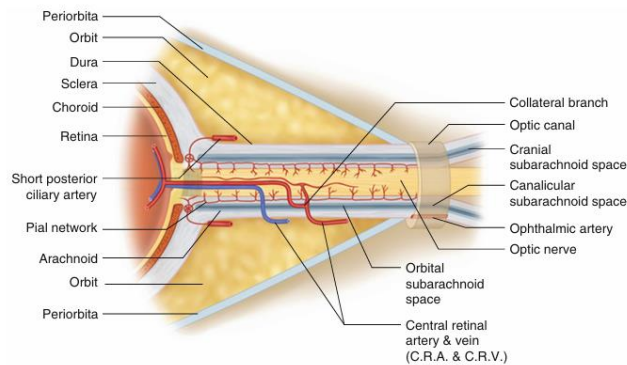
Gambar 2.6 Sebaran RNFL di retina dan diskus optik
(Ansari dan Nadeem 2016)

Saraf optik terdiri dari sekitar 1,2 juta serabut saraf. Serabut dari bagian perifer retina terletak jauh di dalam retina, tetapi menempati bagian paling perifer (dangkal) dari diskus optik. Sedangkan serabut yang berasal dari bagian yang lebih dekat dengan diskus optik terletak di bagian yang lebih dangkal di retina dan menempati bagian yang lebih sentral (dalam) dari diskus optik.⁽¹⁵⁾



Gambar 2.7 Susunan Serabut saraf pada diskus optik

Ketebalan lapisan serabut saraf di sekitar kuadran yang berbeda dari tepi diskus optik meningkat secara progresif dengan urutan sebagai berikut: kuadran paling lateral (paling tipis), kuadran temporal atas dan temporal bawah, kuadran medial paling medial, kuadran nasal atas dan nasal bawah (paling tebal).⁽¹⁵⁾



Gambar 2.8 Vaskularisasi nervus optik
(Ansari dan Nadeem 2016)

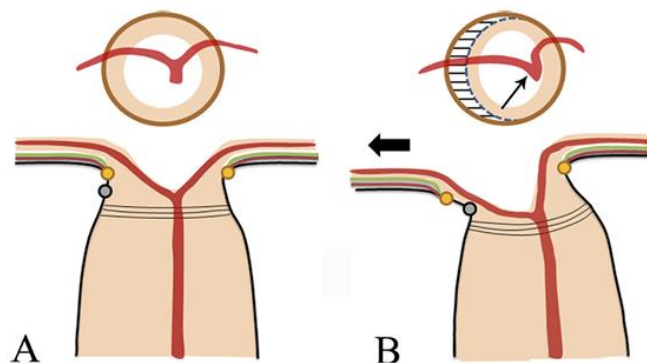
Pembuluh darah retina sebagian besar ditemukan di lapisan serat saraf (*NFL*), tetapi dapat juga ditemukan di lapisan sel ganglion. Pembuluh darah retina tidak menonjol di permukaan dalam retina. Pada pertemuan antara retina dan vitreus terdapat membran yang membentuk batas dalam retina sekaligus batas luar vitreus. Tidak ada serat Müller di diskus optik, yang berperan penting dalam *sweelling* diskus. (Ansari dan Nadeem 2016)

Central Retinal Artery (CRA) berasal dari arteri oftalmika, dekat dengan foramen optik. Arteri ini mengikuti jalur yang bergelombang ke depan di bagian bawah saraf optik, di luar tetapi menempel pada selubung dural, hingga sekitar 15–20 mm di belakang mata, tempat arteri ini masuk ke saraf optik, menembus dura dan arakhnoid. Setelah mencapai ruang subarakhnoid, *CRA* membelok ke depan dan setelah jalur yang sangat pendek, kembali berbelok ke atas pada sudut siku-siku, invaginasi piamater. Di pusat saraf optik, *CRA* membelok ke

depan bersama dengan vena-nya. *CRA* kemudian melewati lamina kribrosa, menembusnya, dan naik ke sisi nasal dari cup fisiologis, sebelum masuk ke retina. Dalam jalurnya, *CRA* membuat lima kelokan, termasuk bifurkasinya, dari titik masuk ke saraf optik hingga mencapai cup fisiologis. (Ansari dan Nadeem 2016)

2.4 Patogenesis

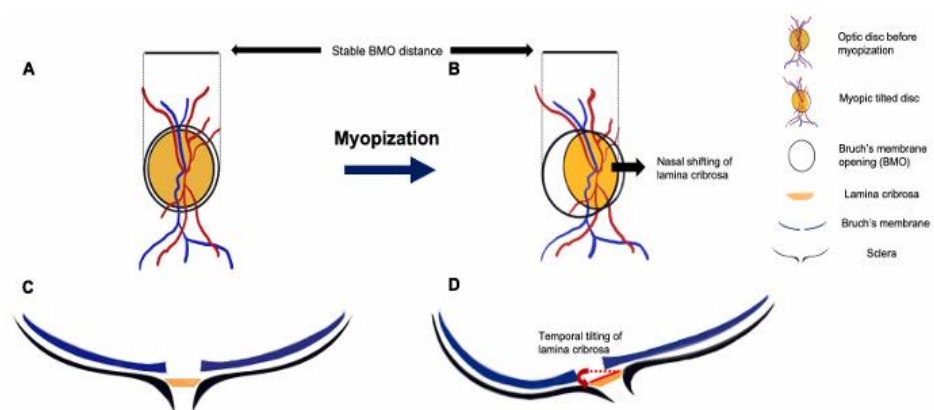
Perubahan diskus optik seperti *tilt disc* dan torsi kemungkinan di mulai sejak masa kanak-kanak. Progresifitas maksimal miopia terjadi pada usia 6–10 tahun, sedangkan perubahan pada *ONH* dan area *peripapillary atrophy (PPA)* terutama terjadi antara usia 7–9 tahun (Verkicha dkk. 2020).



Gambar 2.9 Skematik Patogenesis perubahan *ONH* dan temporal *crescent*
A : *ONH* pada kondisi normal. Lingkaran kuning menunjukkan batas diskus.
B : *ONH* setelah perkembangan *PPA*. Saat bola mata tumbuh secara aksial, sklera temporal bergerak mundur dan menjadi lebih rata (panah besar). Dalam proses ini, nervus optik tertarik ke arah temporal, yang akhirnya menyebabkan diskus optik memiliki tampilan *tilted* dengan elevasi nasal dan perataan temporal. Pembuluh darah retina sentral terletak lebih ke arah nasal dan mengalir secara miring ke nasal setelah perubahan diskus (panah kecil). Lingkaran kuning menunjukkan batas diskus awal, dan lingkaran abu-abu menunjukkan batas baru. Area antara lingkaran kuning dan abu-abu (area bergaris hitam) adalah area *PPA* yang dulunya merupakan permukaan dalam dari kanal sklera.

Salah satu teori menyatakan bahwa dengan pemanjangan *AL* selama proses miopisasi, *membran Bruch (BM)* di polus posterior bertambah panjang dan mendorong batas *MB* di papil

ke belakang, sehingga secara relatif terlepas dari *ONH* pada *scleral opening* dan *BM* tampak menggantung di sisi nasal diskus optik. Berdasarkan studi observasi pada anak-anak dengan miopia, Kim et al. mengusulkan bahwa selama miopisasi, *ONH* dan area *peripapillary* mengalami perubahan yang lebih dramatis, sementara jarak batas membran Bruch (*BMO*) tetap relatif stabil.



Gambar 2.10 Perubahan anatomi selama perkembangan diskus tilting pada miopia (**A, C**) menunjukkan foto fundus awal dari diskus optik dan *scan horizontal OCT*. Lingkaran hitam di bagian luar diskus optik menunjukkan jendela *Bruch Membrane opening* (*BMO*). Garis biru pada panel (**C, D**) menunjukkan lapisan *Bruch Membrane* (*BM*), garis hitam menunjukkan sklera bola mata, dan bagian orange di antara *BMO* dan *BM* mewakili *lamina cribrosa* (*LC*). Panel (**B, D**) menunjukkan perubahan anatomi setelah miopia progresif. Setelah deformasi sklera posterior, kekuatan tarikan dari sklera diteruskan ke *LC*. *LC* tertarik ke arah nasal di bawah jendela *BMO*, bersamaan dengan pembuluh darah yang melewati *LC* (**D**). Pergeseran dan *tilting* bagian nasal *LC* ini menyebabkan ketidakselarasan *BM* dan pembentukan atrofi *peripapillary*. Selama diskus optik *tilting*, jarak antara *BMO* tetap relatif tidak berubah (**B,D**). Pada gambaran *cross-sectional* (**D**), penonjolan posterior sklera meregangkan *LC* menuju titik terdalam bola mata, menghasilkan diskus yang lebih oval dan gambaran torsi diskus pada foto fundus (**B**)

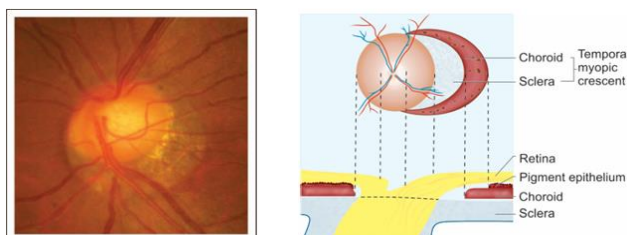
Sumber : . (Chan dkk. 2023). Chan PP, Zhang Y and Pang CP (2023)

Lamina kribrosa (*LC*) merupakan kunci utama yang menjelaskan hubungan antara miopia dan neuropati optik yang juga diidentifikasi sebagai lokasi utama pada kerusakan akson ganglion sel retina (*RGC*) pada glaukoma (Park dan Park 2013). Lamina kribrosa adalah struktur seperti saringan yang mengisi foramen sklera

posterior, dimana sel akson *RGC* yang tidak bermielin melewatinya sebelum berkumpul menjadi saraf optik. Pada miopia, lamina kribrosa juga bisa menipis, bersamaan dengan peregangan dan penipisan sklera peripapil. Hal ini penting karena lamina kribrosa yang lebih tipis berarti gradien tekanan translaminar yang lebih tinggi melintasinya (karena perbedaan tekanan translaminar, yang merupakan perbedaan antara IOP dan tekanan cairan serebrospinal retrobulbar, yang tersebar pada jarak lebih pendek). Gradien tekanan translaminar yang lebih tinggi dapat memberikan tekanan lebih besar pada akson *RGC* saat melewati lamina kribrosa. Oleh karena itu, lamina kribrosa yang lebih tipis telah terbukti terkait dengan laju penipisan *RNFL* yang lebih cepat pada glaukoma. (Lee dkk. 2015).

2.5 Karakteristik Diskus optik pada miopia

Kelainan anatomi yang terkait dengan kondisi miopia yang dapat ditemukan pada pemeriksaan funduskopi yaitu perubahan pada diskus optik seperti diskus *tilting*, peripapil atrofi, siklotorsi, mengalami peregangan secara vertikal maupun horizontal, *CDR* yang lebih besar (Tan dkk. 2019). Selain itu, pemanjangan bola mata akibat miopia juga menyebabkan lamina kribrosa menipis, *RNFL* di bagian temporal menebal dan kuadran lain menipis terutama kuadran nasal (Tan dkk. 2019). Kondisi tersebut meningkatkan risiko terjadinya suatu kondisi glaukomatous.



Gambar 2.11 Foto Fundus (kiri) dan skematik (kanan) diskus optik mata kiri pasien. Diskus optik tampak *tilted* vertikal dan siklotorsi ke arah inferotemporal, dengan peningkatan *CDR* secara vertikal dan atrofi β peripapil bagian temporal. Lamina cribrosa terlihat pada pasien dengan cup yang dalam.
(Tan, Sng, dan Ang 2019) (Khurana AK 2015)

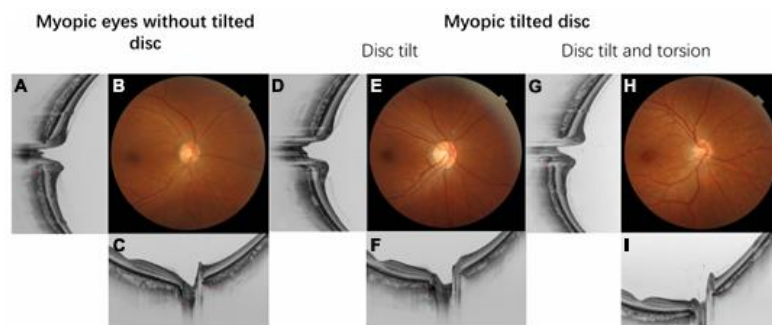
2.5.1 Area diskus optik

Konvergensi lapisan *RNFL* merupakan bagian dari diskus optik, ketebalannya berhubungan dengan area diskus optik. Diskus optik yang lebih besar akan menampung lebih banyak akson *RNF*. Penelitian klinis juga menyimpulkan bahwa luas diskus optik memiliki hubungan positif dengan *AL* (S. Ganekal, et al 2021) karena mata yang lebih panjang dengan permukaan retina yang lebih luas dapat menampung lebih banyak serabut saraf retina dibandingkan mata normal. Pada anak-anak, *CDR* yang besar dengan luas diskus yang besar biasanya dianggap sebagai tanda normal. Namun, 13% berkembang menjadi glaukoma hanya dalam 3 tahun (H. Inuzuka et al 2016). Ketebalan *RNFL* pada anak-anak dengan miopia yang memiliki *CDR* yang lebih besar tidak berubah secara signifikan (Ahn dkk. 2020). Hilangnya *RNFL* biasanya terjadi setelah usia 50 tahun (R. S. Parikh et al 2007). Hubungan antara ketebalan *RNFL* dan ukuran diskus yang besar kemungkinan disebabkan oleh perkiraan yang berlebihan yang disebabkan oleh jarak yang lebih pendek dari lingkaran pemindaian ke batas diskus, karena ketebalan *RNFL* menjadi lebih tipis seiring bertambahnya jarak dari margin diskus (J. J. Zhao et al

2013).

2.5.2 Optic tilt

Optic Tilt atau *Tilted disc* pada miopia adalah salah satu perubahan morfologis yang paling umum ditemukan dan merupakan aksis yang panjang dari diskus optik membentuk sudut dengan aksis vertikal akibat peregangan peregangan sklera selama progresi miopia (M. T. Witmer et al 2010). Kondisi ini dapat menyebabkan perubahan pada lokasi puncak *RNFL*, serta perubahan distribusi lapisan *ganglion cell inner plexiform layer (GC IPL)*. Selain perubahan struktural pada sklera, juga terjadi perubahan pada ketebalan koroid, dan mikrovaskular. *Tilted disc* juga berperan sebagai mediator antara keberadaan struktur massa ovoid hiperreflektif peripapiler (*PHOMS*) dan pergeseran miopia pada anak-anak.



Gambar 2.12 Gambaran perbandingan foto fundus dan OCT pasien miopia

A-C : Mata miopia tanpa *tilted disc*.

D-F: Diskus optik *tilted* pada mata miopia dengan indeks ovalitas = 1.34 dan sudut torsi diskus = 0.

G-I : Diskus optik *tilted* pada mata miopia dengan indeks ovalitas = 1.34 dan sudut torsi diskus = 21.1°.

(Chan dkk. 2023)

Pada mata dengan miopia, kemunculan *tilt disc* dapat menunjukkan perkembangan diskus optik yang berhubungan dengan glaukoma (Lee dkk. 2017). Oleh karena itu, ketika mata menunjukkan

tilt yang jelas pada diskus optik, perhatian harus diberikan pada kemungkinan adanya glaukoma. Mata dengan *tilt* optik cenderung memiliki ketebalan *RNFL* temporal yang lebih tebal karena konvergensi retina menuju daerah makula (Hwang dkk. 2012). Berdasarkan kuadran, ketebalan *RNFL* yang berdekatan dengan rim diskus yang terangkat menjadi lebih tipis. Lokasi preferensial penipisan *RNFL* mungkin terkait dengan profil kedalaman lamina cribrosa berdasarkan sumbu diskus optik yang *tilt*.

Pada mata dengan miopia tinggi, hanya ketebalan *RNFL* di sisi temporal makula yang meningkat secara signifikan dalam kelompok dengan diskus optik yang miring, baik pada lapisan dalam maupun luar (Moghadas Sharif dkk. 2016). Namun, tidak ada perbedaan signifikan dalam ketebalan keseluruhan *RNFL* antara kelompok dengan *tilt* diskus optik dan kelompok tanpa *tilt* pada mata yang sehat (Hwang dkk. 2012), yang mungkin disebabkan oleh perubahan yang tidak merata dalam distribusi *RNFL* yang terkait dengan *tilt* optik. Berbagai perubahan di area yang berbeda di sekitar diskus optik yang *tilt* harus dipertimbangkan selama pengukuran *RNFL* (Du dkk. 2021).

Astigmatisme derajat tinggi telah dilaporkan berhubungan dengan perubahan morfologi diskus optik berupa diskus yang *tilting* dan *oval*, yang berkaitan dengan pertumbuhan bola mata yang tidak simetris dan orientasi *ONH* yang berubah. Pada kondisi ini, perubahan morfologi diskus bersifat struktural dan tidak selalu mencerminkan proses patologis, sehingga dapat memengaruhi interpretasi parameter diskus optik. Oleh karena itu, keberadaan astigmatisme derajat tinggi perlu dipertimbangkan dalam evaluasi diskus optik, khususnya pada populasi anak dengan miopia (Tong L, et al. 2014).

2.5.3 Rotasi diskus optik

Diskus optik biasanya dibedakan berdasarkan ukuran dan bentuknya (Fan dkk. 2017). Rotasi diskus optik dapat berubah seiring dengan perubahan bentuk bagian depan mata, seperti kornea. Astigmatisme kornea berhubungan dengan ketebalan *RNFL*, rotasi optik mungkin memiliki dampak yang sama pada ketebalan *RNFL*. Diskus optik dapat berotasi dengan dua cara. Ketika berotasi di sekitar sumbu vertikal, batas temporal diskus biasanya bergerak mundur, sedangkan batas nasal diskus yang sesuai bergerak maju. Saat berotasi di sepanjang sumbu horizontal, batas inferior diskus bergerak mundur, dan batas superior diskus bergerak maju (Du dkk. 2021).

Pada miopia aksial tinggi, diskus optik lebih banyak berotasi secara horizontal, menyebabkan ketebalan *RNFL* superior nasal lebih tipis dan ketebalan *RNFL* inferior nasal lebih tebal, karena posisi fovea yang lebih horizontal terhadap diskus optik (Fan dkk. 2017). Perubahan lokasi ini akan menyebabkan distribusi *RNFL* yang tidak merata.

2.5.4 Perubahan lapisan *RNFL* pada mata miopia

Beberapa penelitian yang menggunakan *OCT* menunjukkan bahwa profil ketebalan *RNFL* pada mata miopia berbeda dengan mata non-miopia. Pada miopia tinggi, ditemukan bahwa *RNFL* temporal secara signifikan lebih tebal, sedangkan *RNFL* di sektor non-temporal (seperti superior, inferior, dan nasal) secara signifikan lebih tipis dibandingkan dengan miopia rendah (Shin dkk. 2015; Kim MJ et al 2010)

Seiring dengan peningkatan panjang *AL*, retina bergeser secara temporal, yang menyebabkan penebalan *RNFL* di kuadran

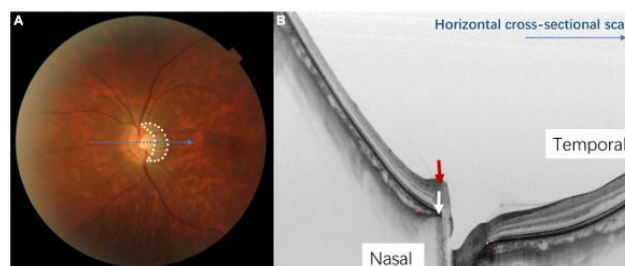
temporal dan penipisan di kuadran lain, terutama di kuadran nasal (Fan dkk. 2017). Pada daerah superior-temporal, lintasan *RNFL* berhubungan dengan jalur pembuluh darah retina, sedangkan di daerah inferior-temporal, lintasannya tidak hanya berhubungan dengan jalur pembuluh darah retina, tetapi juga dipengaruhi oleh torsio diskus. Hal ini mengindikasikan bahwa pada 7,5% pasien miopia, rotasi *RNFL* cukup pada *false nasal step* pada pemeriksaan lapang pandang, dan umumnya tidak sesuai dengan aturan *ISNT* (67% pada miopia tinggi dibandingkan dengan 8% pada emetropia). Dalam sebuah studi berbasis populasi dengan 5387 peserta, *Wagner et al.* melaporkan bahwa sudut antara puncak *RNFL peripapiler* di bagian superior dan inferior menurun sebesar $5,86^\circ$ untuk setiap peningkatan 1 mm pada *AL*. (Kudsieh dkk. 2023; Mishra dkk. 2022)

Sulit untuk membedakan antara miopia dan glaukoma jika hanya dilihat dari perubahan struktur diskus optik dengan menilai kemiringan diskus optik dan *CDR* (Chan dkk. 2023). Evaluasi struktural dari diskus optik (*ONH*) dan ketebalan struktur *RNFL* peripapil dapat menjadi tantangan pada miopia (Tan dkk. 2019). Ketebalan *RNFL* peripapil secara signifikan lebih tipis pada pasien dengan derajat miopia yang lebih tinggi dan *AL* yang lebih panjang (Mishra dkk. 2022). Pada Penelitian berbasis populasi menunjukkan bahwa miopia merupakan faktor risiko utama glaukoma sudut terbuka. Selain itu, angka morbiditas glaukoma meningkat seiring dengan derajat miopia (Ha dkk. 2022). Oleh karena itu, diagnosis glaukoma pada tahap awal miopia sangat penting untuk penatalaksanaan dan pencegahan kehilangan penglihatan.

2.6 Pemeriksaan OCT pada miopia

Saat ini telah berkembang alat diagnostik OCT yang merupakan teknologi pencitraan non-invasif dan non-kontak yang menggunakan interferometri dan sinar laser koherensi rendah untuk membuat gambar penampang cross-sectional (tomogram) retina dengan resolusi mikrometer. *Tilted disc* pada pasien miopia selain dapat diamati pada pemeriksaan fundus, juga dapat diamati lebih jelas pada pemeriksaan OCT. Pada funduskopi, diskus optik akan terlihat berbentuk oval dengan tepi diskus yang terangkat di satu sisi dan sering kali disertai dengan cahaya putih berbentuk setengah bulan atau halo berbentuk seperti huruf “C” di sekitar diskus optik (gambar 2.13 A) (Chan dkk. 2023).

Pada mata dengan miopia, gambaran OCT dapat terlihat terdapat penebalan area *RNFL* bagian temporal, sedangkan bagian lainnya mengalami penipisan (Tan dkk. 2019). Selain itu juga dapat ditemukan kemiringan lamina cribrosa (*LC*) pada *ONH*, dengan tepi nasal dari *MB* yang tampak menonjol dan koroid (gambar 2.13 B).(Chan dkk. 2023)



Gambar 2.13 *Myopic tilted disc* pada foto fundus dan OCT

A : Gambar funduskopi seperti setengah bulan atau seperti *crescent* bentuk “C” (titik-titik putih) di sekitar diskus optik.

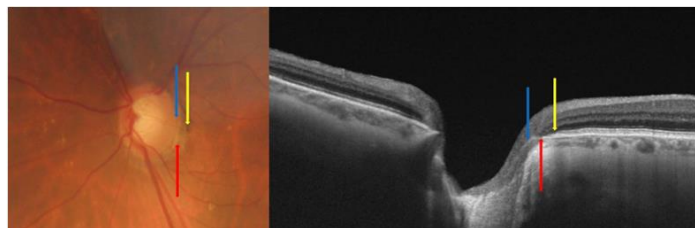
B : Gambar OCT *horizontal cross-sectional scan*. Pembukaan *MB* ditandai (titik-titik hijau), dan pembukaan sklera anterior (titik-titik merah). Batas nasal dari diskus optik terangkat, dan kompleks *MB*-koroid (panah putih) tampak menonjol ke arah diskus optik, menunjukkan kemiringan temporal dari diskus optik. Lapisan *RNFL* di sisi nasal diskus optik terangkat (panah merah), menunjukkan bahwa diskus optik *tilting* ke arah temporal.
(Chan dkk. 2023)

Pada area peripapilar subjek dengan miopia tinggi, terdapat empat zona *PPA* yang dapat dibedakan menggunakan scan radial gambar *OCT* (pada Tabel 2.1 dan Gambar 2.14). *Alpha PPA* (α - *PPA*) terdiri dari *RPE* yang tidak teratur dengan keberadaan membran Bruch (*BM*). Area ini bertepatan dengan *PPA* yang diamati secara klinis melalui retinografi. *Beta PPA* (β - *PPA*) ditandai dengan tidak adanya *RPE* dan keberadaan *BM*. Area *PPA* yang lebih besar dikaitkan dengan usia yang lebih tua dengan *AL* yang lebih panjang, area diskus yang lebih besar, ovalitas diskus yang lebih besar, dan ketebalan koroid yang lebih tipis. *PPA* yang lebih besar pada pasien glaukoma menunjukkan risiko progresi yang lebih besar dan kehilangan lapangan pandang (*VF*) yang lebih parah. *Gamma PPA* (Γ - *PPA*) ditandai dengan tidak adanya baik *RPE* maupun *BM*, hanya dengan adanya *RNFL*. Jenis *PPA* ini merupakan karakteristik dari miopia dan biasanya disebabkan oleh pemanjangan mata yang progresif tanpa memandang glaukoma. Pada mata dengan miopia tinggi dengan *AL* lebih dari 26,5 mm, area diskus optik, area *LC*, dan area pembukaan *BM* meningkat, yang mengarah pada *PPA* berbentuk lingkaran Γ - *PPA* dan δ - *PPA*. (Kudsieh dkk. 2023)

Tabel 2.1 Karakteristik diskus optik pasien miopia pada *OCT*
(Kudsieh dkk. 2023)

α- <i>PPA</i>	<i>RPE</i> irregular dengan adanya <i>BM</i>
β- <i>PPA</i>	<i>RPE</i> tidak ada, <i>BM</i> ada
Γ- <i>PPA</i>	<i>RPE</i> dan <i>BM</i> tidak ada, yang ada hanya <i>RNFL peripapil</i>
δ- <i>PPA</i>	Tidak adanya pembuluh darah kecil yang lebih besar dari 50 mikron biasanya berada di dalam <i>zona PPA</i>
<i>ONH tilt angle</i>	Setiap sisi <i>ONH</i> pada gambaran <i>cross- sectional OCT</i> , dan garis kedua yang menghubungkan dua titik tepi klinis diskus sepanjang scan <i>cross sectional OCT</i> . Sudut antara dua garis: garis pertama menghubungkan tepi dalam <i>BM</i> di setiap sisi <i>ONH</i> pada <i>OCT</i> , dan garis kedua menghubungkan dua titik tepi klinis diskus pada gambaran <i>OCT</i> .
<i>ONH torsion angle</i>	Sudut antara meridian vertikal dari garis yang menghubungkan tepi dalam <i>BMO</i> dan fovea serta diameter terpanjang dari margin <i>ONH</i> (ditentukan dari <i>OCT</i>). Sudut antara meridian vertikal dari garis yang menghubungkan pusat <i>BMO</i> dan fovea serta diameter terpanjang dari margin <i>ONH</i>

	(ditentukan dari OCT)
ONH pits	Bentuk hipo-reflektif triangular dengan puncaknya mengarah ke bagian dalam ONH yang terlihat pada gambar enface.
PICC	Penebalan hipo-reflektif triangular pada koroid dengan dasar di batas diskus optik, kecuali pembuluh koroid besar peripapiler. besar peripapiler



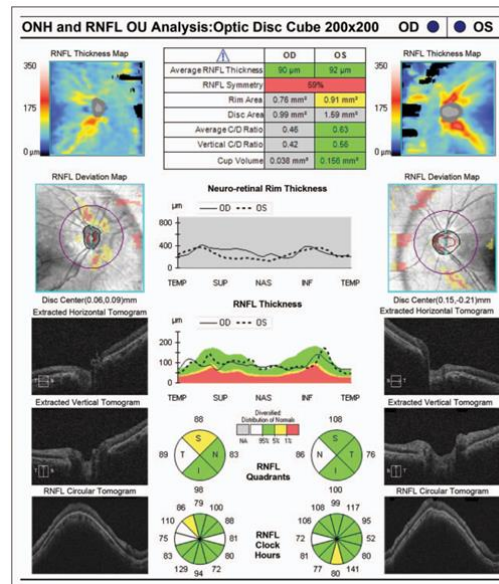
Gambar 2.14 Gambaran Fundus dan OCT dari area *PPA* pada miopia
Panah biru mewakili tepi temporal diskus optik, panah merah mewakili ujung membran Bruch (BM), dan panah kuning mewakili ujung epitel pigmen retina (RPE). Jarak dari tepi diskus optik temporal (panah biru) ke tepi BM (panah merah) didefinisikan sebagai atrofi peripapillary (*PPA*) *beta*, dan jarak dari tepi BM (panah merah) ke ujung RPE didefinisikan sebagai *PPA* *alpha*.
(Kudsieh dkk. 2023)

Berdasarkan studi normatif yang dilakukan pada anak sehat usia 5–18 tahun di Tiongkok (China), nilai rata-rata ketebalan *RNFL* global yang diukur menggunakan spectral-domain OCT (*Cirrus HD-OCT*) dilaporkan sebesar $97,0 \pm 8,8 \mu\text{m}$. Distribusi ketebalan *RNFL* per kuadran mengikuti pola fisiologis ISNT (Inferior–Superior–Nasal–Temporal), dengan ketebalan tertinggi pada kuadran inferior ($127,7 \pm 16,3 \mu\text{m}$) dan superior ($126,2 \pm 13,7 \mu\text{m}$), diikuti oleh kuadran nasal ($70,5 \pm 12,3 \mu\text{m}$), sementara kuadran temporal merupakan yang paling tipis ($63,4 \pm 9,2 \mu\text{m}$). Studi ini juga menunjukkan bahwa ketebalan *RNFL* pada anak relatif lebih tebal dibandingkan populasi dewasa dan terutama dipengaruhi oleh *AL* dan status refraksi, sedangkan pengaruh usia dan jenis kelamin relatif minimal. Data normatif ini menegaskan bahwa interpretasi ketebalan *RNFL* pada populasi pediatrik harus mempertimbangkan karakteristik perkembangan bola mata dan tidak dapat disamakan langsung dengan nilai rujukan dewasa (Qian Y, et al. 2021).

Pada populasi anak dan remaja, sebagian besar studi normatif menunjukkan bahwa ketebalan *RNFL* relatif stabil dan tidak mengalami penurunan bermakna terkait usia sebagaimana yang ditemukan pada populasi dewasa. Berbeda dengan dewasa yang mengalami penurunan *RNFL* sekitar 2–5 μm per dekade. Perubahan *RNFL* pada anak lebih dipengaruhi oleh pertumbuhan dan pemanjangan *AL*, terutama pada anak dengan miopia, dibandingkan oleh proses penuaan fisiologis saraf optik (Lee JY et al 2017). Studi normatif pediatrik menggunakan *spectral-domain OCT* melaporkan bahwa usia tidak berkorelasi signifikan dengan penurunan *RNFL* pada rentang usia anak, sementara faktor refraksi dan *AL* memiliki pengaruh yang lebih dominan. Oleh karena itu, konsep penipisan *RNFL* per dekade tidak dapat diterapkan secara langsung pada populasi anak, dan interpretasi *RNFL* pada usia <18 tahun harus mempertimbangkan konteks perkembangan mata dan status refraksi (Wang X, dkk 2018).

Ketebalan rata-rata *RNFL* biasanya berkurang pada pasien dengan miopia tinggi dibandingkan dengan pasien emetrop ($89,8 \pm 9 \mu\text{m}$ vs. $110,9 \pm 10 \mu\text{m}$, masing-masing, $p < 0,001$) (Tai, E.L.M et al 2018). Oleh karena itu, ketebalan *RNFL* berkorelasi negatif dengan *AL*. Singh et al. dan Kang et al. menemukan bahwa ketebalan rata-rata *RNFL* menurun masing-masing sebesar 3,74 μm dan 2,2 μm untuk setiap peningkatan *AL* sebesar 1 mm (Sharma, R et al 2017). Selain itu, penipisan *RNFL* pada mata dengan miopia tinggi ini tidak terdistribusi secara merata, lebih besar di kuadran bawah ($134,8 \pm 17 \mu\text{m}$ vs. $109,9 \pm 15 \mu\text{m}$, $p < 0,001$) pada emetrop dibandingkan dengan miopia tinggi. (Lee, M et al 2019). Biswas et al. menemukan bahwa selama tindak lanjut (>60 bulan), mata dengan miopia dengan *AL* 26,0 dan 26,5 mm memiliki rata-rata laju kehilangan ketebalan *RNFL*

sebesar 0,15 dan 0,16 $\mu\text{m}/\text{tahun}$, lebih cepat dibandingkan dengan mata dengan $AL < 26$ dan 26,5 mm (Biswas, S et al 2020). Ketebalan *RNFL* peripapilar jauh lebih tipis pada pasien dengan derajat miopia yang lebih tinggi dan AL yang lebih panjang. (Mishra dkk. 2022). Hal ini secara signifikan dapat meningkatkan risiko glaukoma terutama pada miopia tinggi.



Gambar 2.15 Hasil Pemeriksaan OCT ONH dan *RNFL* (menggunakan Software Cirrus-HD versi 6.0; Carl Zeiss Meditec, Inc., Dublin, California, USA).

Mata kanan dengan miopia ($SE : -8,50 \text{ D}$; $AL : 27,99 \text{ mm}$) tanpa glaukoma. Gambaran ketebalan *RNFL* menunjukkan temporalisasi dari dari *bundle RNFL* bagian superotemporal dan inferotemporal. Profil ketebalan *RNFL* secara geografis dapat terlihat. Penonjolan *RNFL* superior bergeser ke temporal, sehingga berada di atas persentil 95 untuk ketebalan di lokasi tersebut; sesuai dengan peta empat kuadran dan peta 12 arah jam, terdapat penebalan supranormal yang jelas di sektor temporal. Pada waktu yang sama, temporalisasi nasal dari tonjolan *RNFL superior* menyebabkan tonjolan ini berada di bawah persentil 10 untuk ketebalan di lokasi tersebut. Peta deviasi *RNFL* menunjukkan penipisan *RNFL* yang jelas di superior, nasal ke *bundle RNFL* superotemporal. Terdapat juga negatif palsu penipisan *RNFL superior borderline* yang dilaporkan pada peta sektor superior dan penebalan sesuai arah jam. Proses serupa terjadi pada *bundle RNFL inferior temporal* pada mata kanan, yang menghasilkan sinyal negatif palsu dari penipisan *RNFL* pada peta deviasi.

(Tan dkk. 2019)

2.7 Pemeriksaan Biometri pada miopia

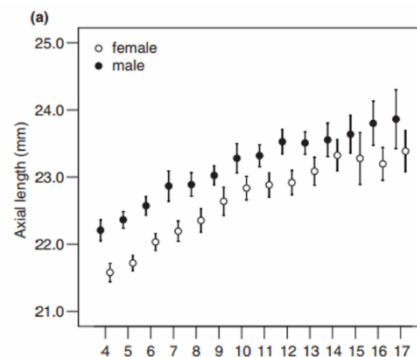
Biometri okular merupakan pengukuran dimensi anatomi mata yang meliputi kurvatura kornea (keratometri), *axial length* (AL), dan kedalaman bilik mata depan (Sahin & Hamrah, 2012; Song & Rizzuti, 2022). Biometri okular ini lah yang menentukan kekuatan refraktif mata manusia.

2.7.1 Axial Length (AL)

AL merupakan jarak dari permukaan kornea ke titik puncak pada retinal pigment epithelium atau membran Bruch. Elongasi aksial terletak saat 3 – 6 bulan pertama kehidupan dan secara gradual mengalami perlambatan laju pertumbuhan pada 2 tahun selanjutnya. Pada usia 3 tahun, biasanya AL dewasa sudah didapatkan (Bhardwaj & Rajeshbhai, 2013).

Pada masa kanak-kanak, AL lebih berpengaruh terhadap terjadinya kelainan refraksi dibandingkan dengan kurvatura kornea maupun kedalaman bilik mata depan. Rauscher, et al. menyatakan bahwa bayi yang baru lahir di Jerman memiliki AL antara 16,50 sampai dengan 17,70 mm. AL pada anak laki-laki ditemukan 16,60 sampai 19,04 mm dan 16,70 sampai 18,50 pada wanita. Setelah ulang tahun pertama, kedua, dan ketiga, AL rata-rata anak secara umum berkisar antara 20,19 mm, 21,31 mm, dan 22,07 mm secara berurutan (Rauscher et al., 2021). Studi yang dilakukan oleh Mutti, et al di Amerika menunjukkan bahwa mean AL pada usia 3 sebesar 19,03 mm dan bertambah pada usia 9 bulan menjadi sebesar 20,31 mm. Sebagian besar yang berkontribusi pada pertambahan AL adalah ekspansi dari ruang vitreous dengan pertumbuhan bilik mata depan yang lebih sedikit (Mutti et al., 2005).

Menurut telaah sistematik yang dilakukan oleh Chen, dkk., *AL* pada kelompok usia 0,0 – 1,9 tahun, 2,0 – 3,9 tahun, dan 4,0 – 6,9 tahun secara berturut-turut adalah 18,33 mm (95% konfidens interval 17,57 – 19,09), 21,71 mm (21,49 – 21,93), dan 22,37 mm (22,29 – 22,45) (Y. Chen et al., 2022). Di Asia, sebuah penelitian di Tiongkok menemukan bahwa pada anak berusia 7 tahun rata-rata *AL*nya adalah $22,72 \pm 0,76$ mm (Li et al., 2015). Perubahan *AL* dari sejak usia gestasional 12 minggu ke 37 minggu bertambah dengan sangat cepat yakni 5,1 mm – 16,2 mm. Akan tetapi laju pertumbuhannya berkurang sejak usia gestasi 38 minggu hingga 3 tahun yakni dari 16,2 mm menjadi rata-rata 21,8 mm (Groot et al., 2022).



Gambar 2.16 Persebaran *AL* menurut usia (Rauscher et al., 2021).

2.7.2 Kurvatura dan Ketebalan Kornea

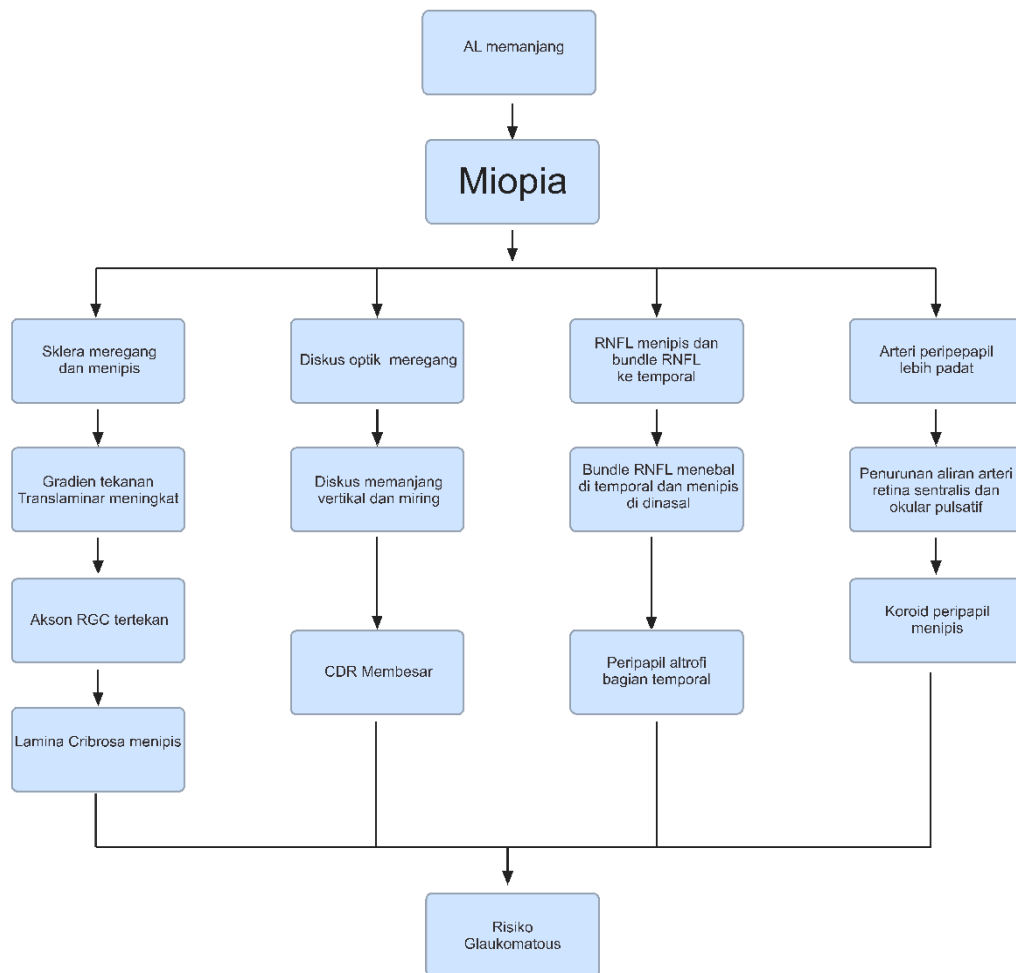
Kurvatura atau kelengkungan kornea berpengaruh terhadap kekuatan kornea. Dalam keadaan akomodasi, bertambahnya kelengkungan kornea dapat menambah kekuatan kornea (Wallace et al., 2019). Sedangkan ketebalan kornea sentral sangat penting dalam menggambarkan kornea yang sehat (Gab-Alla, 2020). Meskipun banyak studi menyimpulkan bahwa ketebalan kornea sentral tidak berpengaruh terhadap kelainan refraktif (M. J. Chen et al., 2009; Mourad et al., 2019), studi Ismaili menemukan pada

penderita myopia didapatkan ketebalan kornea yang lebih tipis (Ismaili et al., 2019).

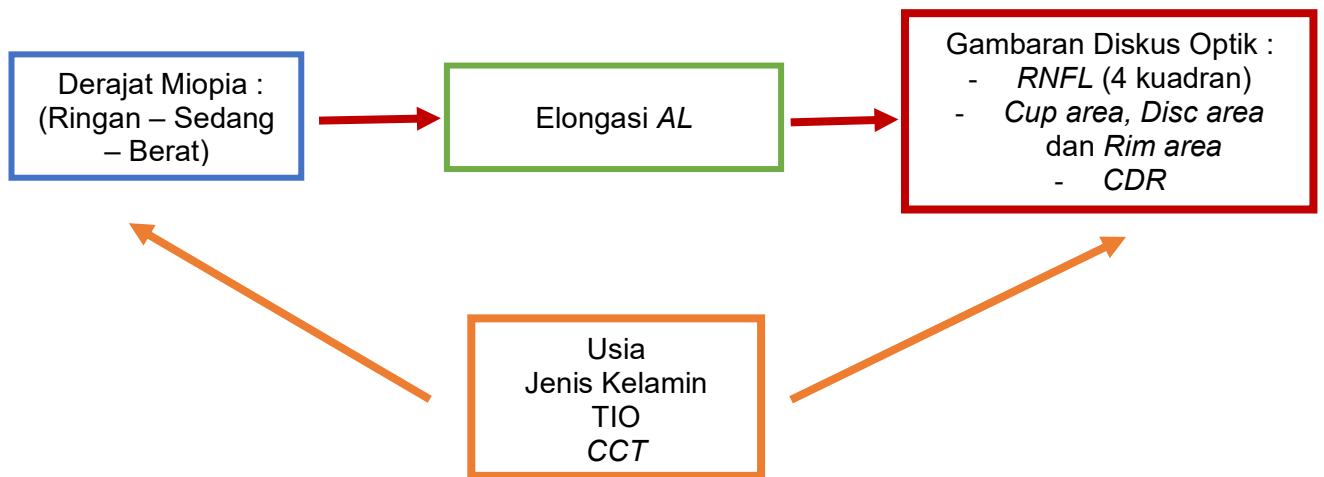
Menurut Rauscher, Perubahan kurvatura kornea terjadi paling besar pada neonatus dengan mean nilai keratometri pada usia 2, 4, dan 8 minggu sebesar 49,01 D, 45,98 D, dan 44,60 D, disertai dengan perubahan 1 D dari usia 3 ke 9 bulan (43,90 D ke 42,83 D). Selain itu juga didapatkan bahwa radius kurvatura kornea mencapai nilai dewasa pada saat usia 3 tahun. Ketebalan kornea sentral berkurang pada bayi baru lahir dari 541 μm ke 520 μm pada masa kanak-kanak, setelah itu tidak ada perubahan lebih lanjut sampai dengan usia dewasa (Rauscher et al., 2021).

Penelitian Chen, et al. menunjukkan bahwa anak usia 0 – 1,9 tahun memiliki ketebalan kornea sentral yang lebih tebal (567,70 μm , 567,20 – 586,21) dan lebih melengkung (7,41 mm, 7,16 – 7,65) (Y. Chen et al., 2022). Penelitian Li, et al. menemukan bahwa pada anak usia 7 tahun, ketebalan kornea sentral rerata sebesar $540,5 \pm 31 \mu\text{m}$ dan radius kurvatura kornea sebesar $7,80 \pm 0,25 \text{ mm}$ (Li et al., 2015). Penelitian-penelitian di atas menunjukkan bahwa seiring dengan bertambah usia, ketebalan sentral kornea semakin berkurang dan kurvatura kornea semakin bertambah.

2.8 Kerangka Teori



2.9 Kerangka Konsep



Keterangan :

Variabel bebas	:	
variabel tergantung	:	
Variabel Antara	:	
Variabel Perancu	:	
Mempengaruhi dan diteliti	:	
Pengaruh variabel perancu	:	