

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pengertian Kelainan Refraksi

Kelainan refraksi dapat didefinisikan sebagai suatu keadaan di mana sistem optik pada mata tidak berakomodasi tidak dapat meneruskan sinar paralel untuk difokuskan pada retina. (Alruwaili, 2018) Kelainan refraksi yang tidak terkoreksi adalah penyebab utama gangguan visual secara global diikuti oleh katarak yang menjadi kasus terbanyak kedua. Kelainan refraksi yang tidak terkoreksi telah ditargetkan sebagai salah satu prioritas program the Vision 2020: The Right to Sight. (Kuang, 2016)

#### 2.2 Epidemiologi Kelainan Refraksi

Kelainan refraksi diperkirakan dialami oleh 123,7 juta orang di seluruh dunia. (Fricke, 2018) Penelitian yang dilakukan pada tahun 2018 menggambarkan pada anak-anak, estimasi prevalensi miopia, hiperopia, dan astigmatisma masing-masing adalah 11,7%; 4,6%; dan 14,9%. Estimasi prevalensi miopia berkisar antara 4,9% di Asia Tenggara hingga 18,2% di wilayah Pasifik Barat, estimasi prevalensi hiperopia berkisar antara 2,2% di Asia Tenggara hingga 14,3% di Amerika, dan estimasi prevalensi astigmatisma berkisar dari 9,8% di Asia Tenggara hingga 27,2% di Amerika. Pada orang dewasa, estimasi prevalensi miopia, hiperopia, dan astigmatisma masing-masing adalah 26,5%; 30,9%; dan 40,4%. Estimasi prevalensi miopia berkisar antara 16,2% di Amerika hingga 32,9% di Asia Tenggara, estimasi prevalensi hiperopia berkisar antara 23,1% di Eropa hingga 38,6% di Afrika dan 37,2% di Amerika, dan estimasi prevalensi

astigmatisme berkisar antara 11,4% di Afrika hingga 45.6% di Amerika dan 44.8% di Asia Tenggara. (Hashemi, 2018) Estimasi prevalensi penderita presbiopia di dunia 55% pada orang berusia 30 tahun ke atas. Orang dengan presbiopia lebih cenderung memiliki koreksi optik yang memadai jika mereka tinggal di sebuah daerah perkotaan dari negara yang lebih maju dengan pengeluaran kesehatan yang lebih tinggi dan kesenjangan yang lebih rendah. (Fricke, 2018)

### 2.3 Etiologi Kelainan Refraksi

Kelainan refraktif diyakini disebabkan modifikasi dan mutasi yang menyebabkan perubahan pada sistem kerja optik. *Genome-wide association study* (GWAS) dan penelitian *next generation sequencing* (NGS) telah menentukan gen yang dapat menyebabkan kelainan refraksi. Beberapa genetik yang dapat menyebabkan miopia adalah LAMA2 (*laminin subunit alpha 2*), KCNQ5 (*potassium voltage-gated channel subfamily q member 5*), APLP2 (*amyloid-like protein 2*), dan LEPREL1 (*leprecan-like protein 1*). (Tedja, 2020) Teori lain mengatakan bahwa pekerjaan yang membutuhkan fokus mata pada objek yang dekat, seperti buku atau layar komputer, untuk jangka waktu yang lama menyebabkan dan berkontribusi pada perkembangan miopia, seperti yang terlihat pada prevalensi miopia yang lebih tinggi pada mereka yang berpendidikan lebih tinggi dan mereka yang terlibat dalam aktivitas pekerjaan yang membutuhkan fokus mata pada objek yang dekat tersebut. (Megbelayin, 2013) Faktor lain seperti, status sosial-ekonomi, lingkungan, prematuritas, tinggi badan, status gizi, tingkat pendidikan orang tua, kecerdasan, lingkungan intra-uterin dan orbita

adalah faktor risiko lain yang terkait dalam berbagai cara dengan onset dan perkembangan kelainan refraksi terutama miopia. (Chakraborty, 2020)

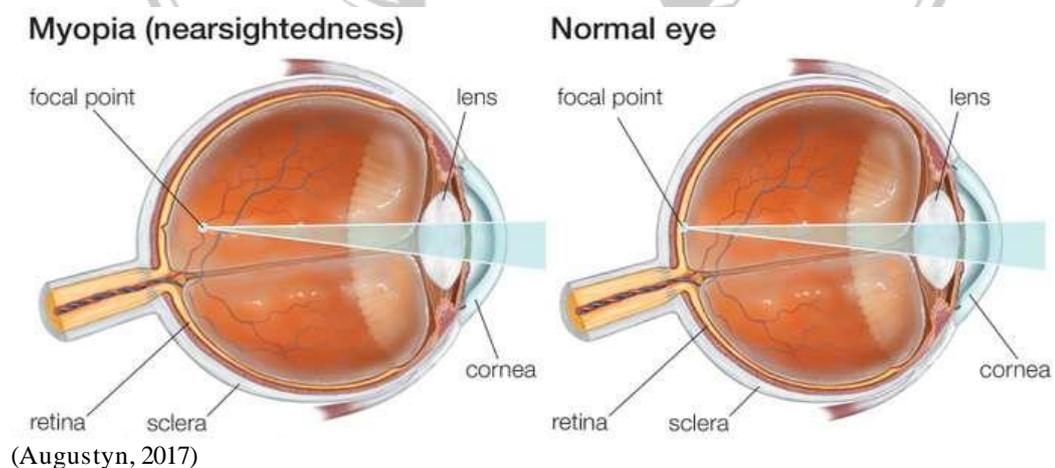
Gen yang bertanggung jawab menjadi penyebab hiperopia adalah gen *phosphodiesterase 11A* (PDE11A), protein *tetratricopeptide repeat domain 30A* (TTC30A), dan *alkylglycerone phosphate synthase* (AGPS). (Simpson, 2014)

Terdapat 2 gen kandidat yang menjadi penyebab astigmatisma yang telah diidentifikasi yaitu PDGFRA (*platelet-derived growth factor receptor*) dan VAX2 (*ventral anterior homeobox 2*). (Lopes, 2013) Gen yang terlibat dalam presbiopia adalah *alpha crystallin* (Khetrapal, 2019)

## 2.4 Klasifikasi Kelainan Refraksi

### 2.4.1 Miopia

Miopia (rabun jauh) merupakan kelainan refraksi dengan bayangan sinar dari suatu objek yang jauh difokuskan di depan retina pada mata yang tidak berakomodasi, yang terjadi akibat ketidaksesuaian antara kekuatan optik (optical power) dengan panjang aksial bola mata (panjang sumbu bola mata) sehingga membuat objek yang jauh terlihat kabur. (Turbert, 2019)

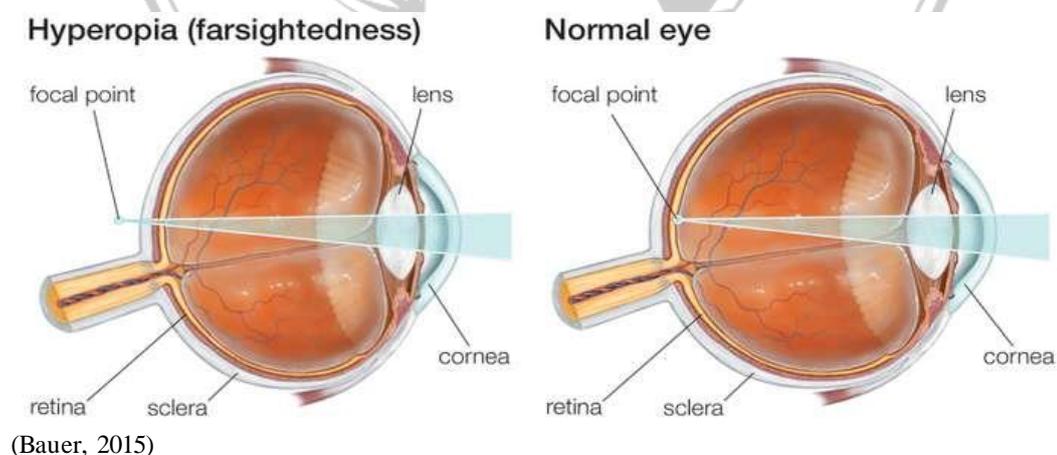


Gambar 2.1  
Miopia (rabun jauh)

Miopia, berdasarkan derajatnya akan terbagi menjadi tiga, antara lain, miopia ringan, miopia sedang dan miopia berat. Istilah-istilah ini diterima secara luas dalam bidang ini, tetapi mereka tidak memiliki definisi standar untuk membedakan ketiganya. Laporan terbaru WHO mencatat bahwa tidak ada ambang batas yang disepakati secara internasional untuk miopia ringan atau untuk miopia sedang pada saat ini. Sebuah definisi diusulkan untuk membedakannya, miopia ringan adalah suatu kondisi di mana kesalahan refraksi objektif sferikal ekuivalen adalah  $\leq -0.50$  dioptri (D) di kedua mata, sedangkan miopia sedang adalah suatu kondisi di mana kesalahan refraksi objektif sferikal ekuivalen adalah  $\leq -5.00$  D di kedua mata (Flitcroft, 2019)

#### 2.4.2 Hiperopia

Hiperopia adalah suatu kondisi dimana objek yang terletak jauh akan terlihat lebih jelas, sedangkan objek yang terletak lebih dekat akan sulit untuk difokuskan oleh mata. Kondisi ini terjadi karena sinar sejajar cahaya yang memasuki mata mencapai titik fokus di belakang retina pada mata yang tidak berakomodasi. (Upadhyay, 2015)

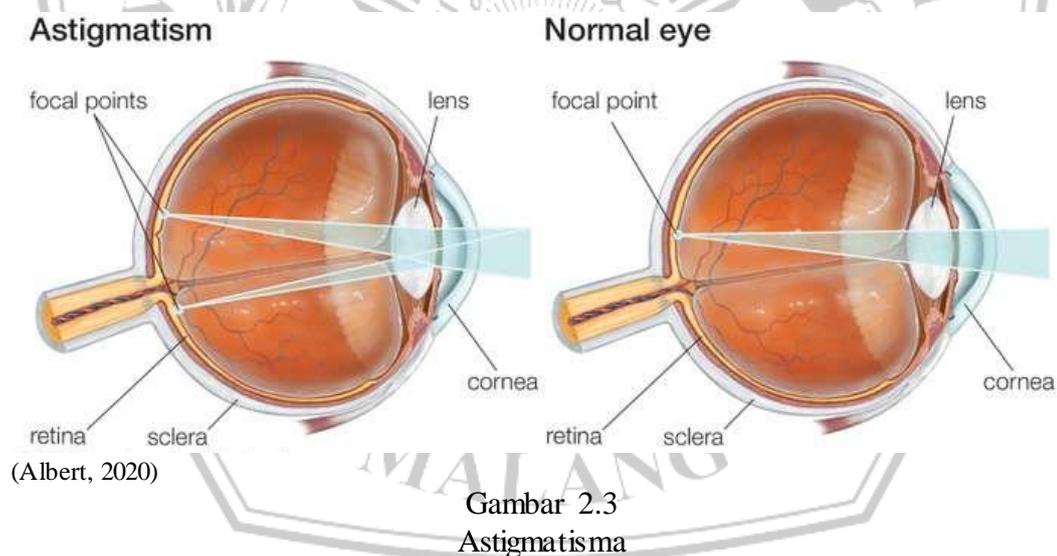


Gambar 2.2  
Hiperopia (rabun dekat)

Hiperopia dapat dibagi menjadi hiperopia laten dan hiperopia manifes. Hiperopia laten adalah kondisi dimana hiperopia dikoreksi secara fisiologis oleh otot siliaris sehingga hiperopia tertutupi dan hanya terungkap ketika otot tersebut lumpuh oleh penggunaan obat, seperti atropin. Hiperopia manifes dibagi menjadi hiperopia fakultatif dan hiperopia absolut. Hiperopia fakultatif adalah hiperopia yang dapat diatasi dengan upaya akomodatif, sementara hal tersebut tidak memungkinkan terjadi dalam kasus hiperopia absolut. (Costa, 2015)

#### 2.4.3 Astigmatisma

Astigmatisma merupakan kelainan refraksi yang cukup umum, terjadi bila sinar sejajar cahaya yang memasuki mata tidak difokuskan pada satu titik yang sama melainkan pada dua titik yang berbeda. (Read, 2014)

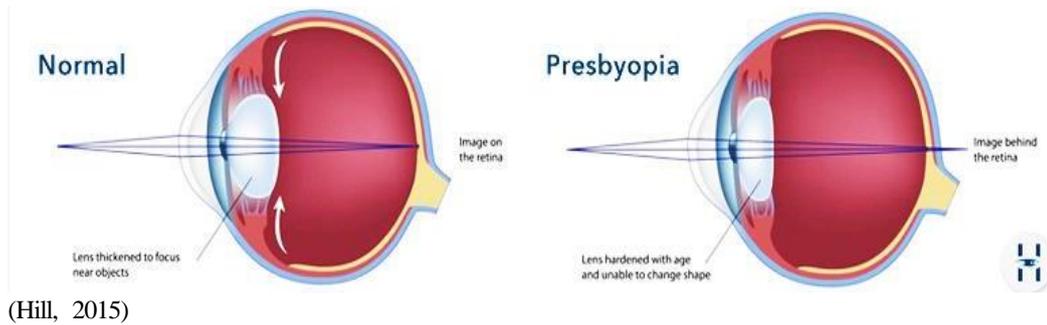


Astigmatisma terbagi menjadi 2 yaitu astigmatisma reguler dan astigmatisma ireguler. Astigmatisma reguler terbagi kembali menjadi 3 antara lain, *simple regular astigmatism*, *compound regular astigmatism* dan *mixed regular astigmatism*. *Simple regular astigmatism* terbagi menjadi 2 kembali *simple*

*myopic astigmatism* dan *simple hyperopic astigmatism*. *Simple myopic astigmatism* adalah astigmatisma dimana satu meridian berada di retina dan satu meridian berada di depan retina. *Simple hyperopic astigmatism* adalah astigmatisma dimana satu meridian ada di retina dan meridian lain berada di belakang retina. *Compound regular astigmatism* terbagi menjadi 2 *compound myopic astigmatism* dan *compound hyperopic astigmatism*. Dalam *compound myopic astigmatism*, dua meridian terfokus di depan retina. Di *compound hyperopic astigmatism*, dua meridian terfokus di belakang retina. *Mixed regular astigmatism* merupakan astigmatisma dimana satu meridian difokuskan di depan retina dan meridian lain terfokus di belakang retina. Astigmatisma iregular adalah jenis astigmatisma yang tidak memiliki aturan yang diikuti terkait sumbu. Terjadi karena variasi indeks refraksi yang terjadi karena trauma pada lensa yang menyebabkan keratokonus. (Chowdhury, 2018)

#### 2.4.4 Presbiopia

Presbiopia tidak dianggap sebagai kesalahan refraksi seperti miopia, hiperopia, dan astigmatisma. Presbiopia terjadi karena sinar cahaya yang memancar dari jarak baca 33,3cm tidak sejajar tetapi berbeda (yaitu vergensi negatif). (Megbelayin, 2013) Presbiopia merupakan hasil perkembangan penglihatan alami yang merupakan hasil dari kegagalan fisiologis akomodasi akibat penuaan dimana terjadi berkurangnya kemampuan mata untuk berakomodasi secara bertahap dari sekitar 15 dioptri (D) pada anak usia dini menurun hingga 1 D pada usia sebelum 60 tahun. (Mimura, 2013)



(Hill, 2015)

Gambar 2.4  
Presbiopia

Sebuah teori menjelaskan bahwa akomodasi terjadi sebagai akibat sifat elastis lensa dan mungkin vitreous yang memungkinkan lensa untuk mengembang dan meningkatkan kekuatannya ketika ketegangan zonular berkurang selama kontraksi otot siliaris. Seiring dengan perubahan lensa dan bertambahnya usia, kemampuan untuk memperluas dan meningkatkan daya refraksi berkurang. Teori lain mengatakan serat otot longitudinal dari kontrak otot siliaris selama akomodasi, menempatkan lebih banyak ketegangan pada zonula ekuator, dan relaksasi pada zonula anterior dan zonula posterior. Distribusi gaya ini menyebabkan peningkatan diameter ekuator lensa, menurunkan volume perifer sambil meningkatkan volume pusat. Dengan meningkatnya volume pusat, demikian juga kekuatan lensa. Berdasarkan teori ini, presbiopia terjadi karena meningkatnya diameter ekuator lensa yang menua. Setelah diameter lensa mencapai ukuran yang paling kritis, biasanya selama dekade kelima kehidupan, tegangan istirahat pada zonula berkurang secara signifikan. (Papadopoulos, 2018)

## 2.5 Komplikasi Kelainan Refraksi

### 2.5.1 Ambliopia

Kesalahan refraksi yang tak terkoreksi dianggap sebagai penyebab paling umum dari ambliopia. Ambliopia (mata malas) adalah suatu bentuk gangguan

penglihatan kortikal, didefinisikan secara klinis sebagai penurunan ketajaman visual (VA) unilateral atau bilateral yang tidak dapat dikaitkan dengan abnormalitas struktural mata atau jalur visual. Ada dua jenis utama ambliopia. Ambliopia anisometropik mengacu pada ambliopia unilateral yang disebabkan oleh kesalahan refraksi masing-masing mata. Ambliopia isoametropik terjadi ketika kedua mata mengalami ambliopia akibat kesalahan refraksi yang signifikan namun serupa. Tingkat keparahan kesalahan refraktif dan ambliopia berhubungan langsung. Ambliopia anisometropik kemungkinan dengan adanya 1,0-1,5 D atau lebih anisohiperopia, 2,0 D atau lebih anisoastigmatisma, dan 3,0-4,0 D atau lebih anisomiopia. Ambliopia bilateral atau isoametropik dapat terjadi pada miopia preskripsi 5,0-6,0 D atau lebih, hiperopia preskripsi 4,0-5,0 D atau lebih atau astigmatisma preskripsi 2,0-3,0 D atau lebih. Ambliopia yang disebabkan oleh astigmatisma yang signifikan disebut sebagai ambliopia meridional. (Papageorgiou, 2019)

### 2.5.2 Strabismus

Strabismus juga dikenal dengan sebutan mata juling. Strabismus, ketidaseselarasan kedua mata, adalah kelainan okular yang umum pada populasi anak-anak. Perkiraan prevalensi untuk strabismus bersamaan berkisar antara 2,3% hingga 6,0% pada anak-anak. Penyebab strabismus belum dipahami dengan jelas dan banyak faktor dapat berkontribusi. Anak-anak yang menderita hiperopia pada masa bayi telah ditemukan lebih cenderung menjadi strabismus. Strabismus menyebabkan hilangnya binokularitas dan persepsi kedalaman. (Tang, 2016)

Strabismus memiliki banyak jenis, tetapi secara garis besar strabismus dapat dibagi menjadi esotropia, eksotropia, hipertropia, hipotropia, dan *paralytic strabismus*. Esotropia adalah strabismus konvergen di mana satu mata mengarah ke arah hidung. Eksotropia adalah strabismus divergen di mana mata yang satu mengarah ke luar. Strabismus vertikal yang di mana mata yang mengalami lesi lebih tinggi dari yang lain disebut hipertropias, sedangkan strabismus dimana mata yan mengalami lesi lebih rendah disebut hipotropia. *Paralytic strabismus* adalah kerusakan pada saraf kranial ketiga, keempat atau keenam akibat pasokan darah yang buruk, tekanan pada saraf atau cedera kepala akan menyebabkan gerakan mata terbatas dan menyebabkan strabismus. (Ferris, 2015)

## 2.6 Penatalaksanaan Kelainan Refraksi

### 2.6.1 Kacamata

Kacamata adalah lensa tipis yang dipergunakan pada mata guna menormalkan dan mempertajam penglihatan dengan variasi ada yang menggunakan rangka dan ada yang tidak. Dapat diartikan pula sebagai sepasang kaca yang berangka yang diletakkan tepat didepan mata untuk melindungi lensa mata. (Pusat Bahasa, 2016)

Kacamata merupakan alat yang sederhana dan aman digunakan tapi dapat rusak atau hilang bila tidak menjaga dan merawat dengan baik. Kacamata memiliki beberapa bagian antara lain, sebagai berikut:

#### 1. *Frame front* (bingkai depan)

Bingkai depan adalah bagian utama dari keseluruhan sebuah kacamata. Bingkai depan juga merupakan tempat diletakkannya lensa, juga dapat memberikan *style* dan karakteristik pada kacamata. (Porter, 2017) Bingkai

depan memiliki material, warna, bentuk dan ukuran yang berbeda. Selulosa asetat, logam, bahkan serat karbon dapat dijadikan sebagai bahan utama pembuatan bingkai depan tersebut. *Frame front* memiliki beberapa sub bagian antara lain, *rims*, *endpieces*, *bridge*, lensa, *nosepad*, dan *hinges* (Bartlett, 2019)

## 2. *Temples*

*Temples* adalah bagian lengan yang berada di sisi bingkai dan dihubungkan dengan *hinges* untuk membantu kacamata tetap berada pada posisinya. *Temples* dapat terbuat dari plastik dan metal, dengan panjang yang dapat disesuaikan. (Bartlett, 2019)

Adapun tujuan dari penggunaan kacamata diantara lain sebagai alat meningkatkan ketajaman, mengembalikan penglihatan yang nyaman kepada pengguna, meningkatkan efisiensi visual, mencegah perkembangan kelainan refraksi. Komplikasi mungkin terjadi dari penggunaan kacamata seperti asthenopia dengan gejala ketegangan pada mata atau sakit kepala yang menjadi tanda bahwa jarak pupil tidak diukur secara benar. Komplikasi lain yang mungkin terjadi pada pengguna kacamata lebih mengarah kepada tingkat kenyamanan seperti, pada beberapa orang yang memiliki *nasal bridge* rendah, kacamata akan tergelincir kebawah; terlalu longgar di telonga; hingga meninggalkan bekas pada pipi dan hidung. (Evans, 2019)

### 2.6.2 Lensa kontak

Lensa kontak adalah kaca atau plastik yang melengkung seperti tempurung yang diaplikasikan langsung di atas permukaan mata atau kornea untuk memperbaiki kelainan refraksi. (Dorland, 2020) Lensa kontak memiliki beberapa

macam jenis yang terbuat dari material yang berbeda. Berikut beberapa jenis lensa kontak tersebut:

1. *Rigid gas permeable (RGP)*

RGP memiliki ukuran lensa yang kecil dan dipasang di dalam kornea. RGP termasuk pilihan aman dan nyaman untuk memperbaiki kelainan refraksi. Bahan pembuatan RGP terus berkembang untuk memaksimalkan fungsi dan juga kenyamanan pada saat penggunaan. RGP yang beredar saat ini memiliki bahan *silicone hydrogel*. (Kantzou, 2018)

2. *Soft contact lenses*

*Soft contact lenses* awalnya terbuat dari bahan *Hydroxyethylmethacrylate* (HEMA) yang dikenal dengan bahan *hydrogel* namun lensa *hydrogel* ini memiliki keterbatasan kadar air dan permeabilitas oksigen. Kekurangan ini menjadikan terciptanya lensa yang terbuat dari bahan *silicone-hydrogel*. Gugus OH yang terkandung didalamnya meningkatkan kadar air yang terikat pada bahan lensa, sedangkan bahan *Polyvinylpyrrolidone (PVP)* meningkatkan keterbasahan lensa. (Athreya, 2018) *Soft contact lenses* memiliki 3 macam jenis yang berbeda yaitu *extended-wear contact lenses*, *daily-wear contact lenses*, dan *disposable-wear contact lenses*. (Kantzou, 2018)

Lensa kontak yang merupakan salah satu tatalaksana kelainan refraksi yang sering dan mudah digunakan tidak memiliki indikasi tertentu jika ingin menggunakannya. Indikasi tersebut diantara lain, sebagai rehabilitasi visual, penggunaan terapeutik dalam mengelola penyakit permukaan okular, penggunaan

pada kelainan kelopak mata dan orbit, dan koreksi bias untuk meningkatkan kualitas visual, kenyamanan dan kualitas hidup. (Fadel, 2019)

Adapun komplikasi yang dapat dan sering terjadi dari penggunaan lensa kontak adalah neovaskularisasi kornea. (Ammer, 2016)

### 2.6.3 *Laser-assisted in-situ keratomileusis (LASIK)*

#### 1. Pengertian

LASIK adalah prosedur memperbaiki kelainan refraksi yang paling umum dilakukan untuk mengurangi ketergantungan mengenakan kacamata dan lensa kontak. LASIK merupakan salah satu prosedur operatif yang menggunakan *microkeratome blade* atau *femtosecond laser* untuk membuat *flap* lamellar kornea dengan ketebalan parsial dan kemudian menggunakan *excimer laser* untuk membentuk kembali dan mengubah fokus permukaan dibawah *flap*. (Tucker, 2019)

#### 2. Indikasi

Tahap pertama sebelum melakukan prosedur LASIK adalah memastikan bahwa pasien telah memenuhi indikasi dapat dilakukannya prosedur LASIK. Adapun indikasi penerima prosedur LASIK adalah sebagai berikut:

- a. Pasien dengan usia minimal 21 tahun dan memiliki preskripsi dioptri kacamata yang stabil, atau dapat didefinisikan lebih lanjut dengan tidak adanya perubahan preskripsi lebih dari 0,5 D selama 2 tahun terakhir. (Ahmed, 2019)
- b. Tidak memiliki penyakit mata lain, terutama yang mempengaruhi kornea. (Ahmed, 2019)

- c. Memiliki preskripsi dioptriacamata sampai dengan -10,00D pada miopia, antara +1,00D sampai dengan +6,00D pada hiperopia, dan  $\pm 6,00D$  pada astigmatisma. (Ahmed, 2019)
- d. Ketebalan kornea pada area paling tipis adalah  $\geq 500 \mu\text{m}$  dan *residual corneal bed*  $\geq 280 \mu\text{m}$ . (Eldaly, 2019)

### 3. Prosedur tindakan

Prosedur LASIK mengharuskan dilakukan pemeriksaan mata terlebih dahulu pada calon pasien. Pemeriksaan yang dilaksanakan sebelum dan sesudah dilakukannya prosedur LASIK dilakukan untuk mengetahui *spherical equivalent refraction* (SER), kelengkungan kornea, ketebalan kornea sentral, ketebalan kornea superior, serta tekanan intraokular (TIO). (Cacho, 2015) Prosedur LASIK dimulai dengan pemberian tetes mata yang akan membuat mata teranestesi untuk sementara. Mata lalu akan dipasang *eyelid holder* agar tidak berkedip selama prosedur berlangsung. Terdapat dua cara untuk membuat *flap*, yaitu dengan menggunakan *microkeratome blade* atau dengan menggunakan *femtosecond laser*. Ketebalan *flap* yang akan dibuat terbagi menjadi 2 kelompok yaitu 100-110  $\mu\text{m}$  dan 130  $\mu\text{m}$  yang akan disesuaikan dengan profil kornea dan refraksi pasien serta pertimbangan dokter yang akan melakukan prosedur. (Eldaly, 2019) Kemudian *flap* dibuka perlahan. Pasien akan diminta untuk menatap sebuah target cahaya agar mata terfokus. Oftalmologis kemudian akan membentuk kembali kornea pasien dengan menggunakan *excimer laser*. Setelah dilakukan prosedur, *flap* akan ditutup kembali dan diratakan. *Flap* akan merekat kembali setelah 2 hingga 3 menit. Pelindung tembus pandang kemudian akan diletakkan didepan mata pasien

agar dapat membantu melindungi mata pada saat penyembuhan. (Boyd, 2019) Pasien juga akan diberikan obat tetes mata kombinasi Dexamethsone-Tobramycin 4 kali sehari selama seminggu dan tetes mata lubrikan 4 kali sehari selama 3 bulan. (Eldaly, 2019)

#### 4. Komplikasi

##### a. *Dry eye disease*

Salah satu komplikasi dilakukannya prosedur LASIK adalah *dry eye disease* (DED). DED memiliki gejala mata seperti kering, berpasir hingga terasa terbakar. (Heidari, 2019) Etiologinya termasuk antara lain kerusakan pada saraf sensorik pada saat pembuatan *flap*, penurunan tingkat produksi air mata, penurunan intensitas kedipan mata, hingga kerusakan sel goblet pada saat dilakukannya prosedur. (Tucker, 2019)

##### b. *Rainbow glare*

*Rainbow glare* (RG) adalah komplikasi yang unik, karena berhubungan erat dengan kualitas *femtosecond laser* yang digunakan. Penyebab terjadinya RG dikarenakan berhamburannya difraksi cahaya dan terjadi penyimpangan pada permukaan lamellar yang diciptakan oleh laser. RG digambarkan dengan kondisi dimana pasien melihat pita spektrum warna yang terdiri dari 4-12 warna memancar secara simetris dari sumber cahaya dengan latar belakang yang gelap. (Moshirfar,2016)

##### c. Ektasia kornea

Ektasia kornea merupakan penonjolan dan penipisan kornea secara progresif yang dapat terjadi setelah prosedur LASIK. Perubahan

histopatologi dan biomekanik kornea yang terjadi pada saat prosedur LASIK dilakukan menjadi penyebab terjadinya ektasia kornea. (Wolle, 2016)

#### 2.6.4 Photorefractive keratectomy (PRK)

##### 1. Pengertian

*Photorefractive keratectomy* (PRK) adalah prosedur bedah mata yang menggunakan laser untuk koreksi kelainan refraksi visual seperti miopia, hiperopia, dan astigmatisma. (Somani, 2019) Dari semua bedah refraksi yang ada, PRK merupakan pilihan yang populer di antara ahli bedah di dunia. Pada PRK, epitel dihilangkan dan ablasi dilakukan pada *stromal bed*. Untuk menghilangkan lapisan epitel beberapa teknik digunakan termasuk pengikisan manual, dengan menggunakan *amoils epithelial scrubber*, alkohol (20%), dan laser *excimer*. (Radkar, 2019)

##### 2. Indikasi

Sebelum merencanakan prosedur PRK, hendaknya ahli bedah memastikan apakah pasien memenuhi indikasi dilakukannya prosedur. Indikasi tersebut seperti, pasien dengan miopia yang memiliki preskripsi hingga -12 D, astigmatisma hingga 6 D, dan hiperopia hingga + 5 D. Hasil dari prosedur PRK akan lebih baik jika pasien memiliki preskripsi dioptri dalam rentang rendah pada masing-masing kesalahan refraksi, semakin tinggi preskripsi dioptri maka akan semakin tinggi pula kemungkinan terjadinya regresi dan kabut kornea.(Somani, 2019)

### 3. Prosedur tindakan

Prosedur dilakukan dengan melakukan evaluasi pra-operasi terlebih dahulu, yang terdiri pengukuran ketajaman visual yang tidak terkoreksi (UCVA), ketajaman visual saat terkoreksi dengan baik (BSCVA), *manifest and cycloplegic refraction*, *biomicroscopy slit-lamp*, tonometri aplanasi, *corneal pachymetry*, dominasi okuler, keratometri, pengukuran diameter pupil dalam keadaan skotopik, uji *tear break up time* (TBUT), kecepatan berkedip, uji Schirmer bila perlu, pemeriksaan slitlamp dan topografi kornea. Pada semua pasien, fotografi fundus dilakukan menggunakan oftalmoskopi tidak langsung untuk menyingkirkan kemungkinan patologi retina terkait yang mungkin menjadi predisposisi pada ablasi retina. Lesi yang mencurigakan diobati dengan laser atau cryotherapy dan pada pasien tersebut pembedahan ditunda selama 8 hingga 12 minggu. (Pande, 2015) Pada saat proses berlangsung hal pertama, dalam kondisi steril yaitu memberikan anestesi topikal (lidokain 2%), setelah itu epitel dilonggarkan menggunakan 17% larutan alkohol selama 15 detik dan dilepaskan secara manual menggunakan spatula tumpul. Setelah itu ablasi dengan laser *excimer* dilakukan. (Naderi, 2016) Topikal mitomycin-C kemudian diaplikasikan pada permukaan stroma kornea yang dilepaskan selama 10-35 detik dan dilakukan irigasi pada area tersebut dengan 20 ml larutan garam seimbang. (Harris, 2017)

### 4. Komplikasi

Perawatan laser *excimer* telah menjadi prosedur yang konsisten dan andal, dengan laporan tingkat kepuasan yang tinggi pasien. Namun, beberapa komplikasi dapat terjadi. Dalam jangka pendek, pasien dapat mengalami rasa sakit,

pemulihan visual yang tertunda, dan kabur. koreksi yang berlebihan atau kurang, regresi, desentralisasi, ektasia kornea, dan mata kering merupakan beberapa komplikasi jangka panjang yang paling umum terjadi setelah prosedur dilaksanakan. (Spadea, 2019)

### 2.6.5 Laser-assisted subepithelial keratomileusis (LASEK)

#### 1. Pengertian

LASEK merupakan modifikasi dari PRK, dengan tujuan untuk mempertahankan epitel agar proses penyembuhan berlangsung lebih cepat. Prosedur LASEK dilakukan dengan membuat *flap* tipis pada epitel sehingga prosedur pada saat epitel dilepaskan lebih terkontrol pada kedalaman dan diameter yang tetap. (Kuryan, 2017) Penggunaan alkohol juga diperlukan pada prosedur LASEK untuk meregangkan epitel agar tidak meninggalkan goresan pada membran Bowman. (Harris 2017)

#### 2. Indikasi

Indikasi utama dilakukannya prosedur operatif untuk mengobati kelainan refraksi adalah pasien yang ingin terbebas dari penggunaan kacamata dan lensa kontak. Berumur lebih dari 21 tahun karena cenderung memiliki preskripsi yang lebih stabil. Memiliki preskripsi  $\leq -14,00D$  pada miopia,  $\leq +6,00D$  pada hiperopia, dan  $\leq \pm 6,00D$  pada astigmatisma. Penderita kelainan refraksi yang tidak dianjurkan untuk menjalani prosedur LASIK (Feldman, 2017)

#### 3. Prosedur tindakan

Sebelum dilakukan prosedur pasien akan menjalani pemeriksaan mata lengkap yang meliputi pengukuran ketajaman visual yang tidak terkoreksi (UCVA),

ketajaman visual saat terkoreksi dengan baik (BSCVA), *manifest and cycloplegic refraction*, *biomicroscopy slit-lamp*, tonometri, *corneal pachymetry*, keratometri, dan topografi kornea. (Gros-Otero, 2016) Prosedur bedah dilakukan dengan menggunakan larutan alkohol 20% yang diteteskan pada *alcoholic solution cone* yang berdiameter 8,5 mm untuk membuat *flap* epitel kornea yang kemudian akan dikelupas dengan *crescent blade* dengan menyisakan epitel kornea yang berada pada jam 12 untuk menjaga hidrasi epitel. Spatula kemudian digunakan untuk menghilangkan debris pada permukaan stroma. Kemudian dilakukan ablasi dengan laser excimer 193 nm. Laser difokuskan pada pupil untuk memungkinkan ablasi jaringan pada tingkat lapisan Bowman. Selama prosedur, pasien diharuskan untuk mempertahankan fiksasi. Setelah ablasi selesai dilakukan, selanjutnya *flap* akan dikembalikan pada posisi semula dan diberikan lensa kontak lunak yang berperan sebagai pembalut untuk kemudian dikenakan selama 7 hari. Steroid topikal (fluorometholone 0.1%), antibiotik topikal (tetes mata levofloxacin 0,5%), dan *artificial tears* (tetes mata sodium hyaluronate) akan diresepkan kepada pasien setelah prosedur dilakukan. (Li, 2019)

#### 4. Komplikasi

LASEK masih memiliki beberapa kekurangan, walaupun komplikasi jika melakukan prosedur LASIK dapat banyak dihindari. Komplikasi yang dapat terjadi setelah dilakukannya prosedur seperti, nyeri, kerusakan epitel, goresan pada kornea (meskipun resiko goresan menurun dibandingkan dengan PRK namun goresan masih dapat terjadi karena respon inflamasi pada saat melakukan

tindakan pada permukaan kornea), keratitis, dan astigmatisma ireguler. (Feldman, 2017)

#### 2.6.6 *Phakic intraocular lens (PIOL)*

##### 1. Pengertian

Lensa yang ditanamkan ke mata untuk memperbaiki penglihatan tanpa mengeluarkan lensa alami disebut lensa intraokular phakic (PIOLs). PIOL terbuat dari plastik sintetis bening. PIOL memungkinkan cahaya fokus pada retina untuk meningkatkan ketajaman visual yang tidak dikoreksi. (Pineda, 2016) Implantasi PIOL adalah pendekatan terbaik pada pasien muda dengan kelainan refraksi sedang hingga tinggi dan pada mereka yang memiliki kontraindikasi terhadap prosedur bedah refraksi yang lain. Keuntungannya adalah implantasi PIOL mempertahankan akomodasi dan bersifat reversibel. Phakic IOL terdiri dari 3 jenis: *angle-supported anterior chamber*, *iris-claw anterior chamber*, dan *posterior chamber*. (Tinwala, 2013)

PIOL juga dapat digunakan untuk mengoreksi presbiopia dengan *Presbyopia-Correcting Phakic IOLs* (PC-PIOL). PC-PIOL digunakan untuk mengoreksi presbiopia pada pasien berusia lanjut antara 40 dan 55 tahun tanpa katarak disamping miopia, hiperopia, dan astigmatisma. PC-PIOL adalah lensa akrilik hidrofilik, yang bisa dimasukkan melalui sayatan 2,8 mm. Akan tetapi, diperlukan hasil jangka panjang untuk menilai keamanan dan kemanjuran untuk PC-PIOL baru ini. (Pineda, 2016)

## 2. Indikasi

Kriteria yang umum harus dipatuhi sebelum melakukan prosedur PIOL agar dapat diprediksi dan aman, termasuk, usia lebih dari 21 tahun; refraksi stabil (perubahan kurang dari 0,5D selama 1 tahun); memiliki rentang preskripsi penglihatan kira-kira hingga -17,00D untuk miopia, hiperopia hingga + 10.00D, hingga  $\pm$  4,50D astigmatisma; lensa mata jernih; ametropia yang tidak sesuai untuk operasi laser excimer; penglihatan yang tidak memuaskan dengan lensa kontak atau kacamata; ukuran pupil yang sesuai untuk PIOL yang ditentukan; *anterior chamber depth* (ACD) yang memadai; memiliki jumlah minimum *endothelial cell count* (ECC) yang ditentukan untuk setiap PIOL; tidak memiliki patologi okular seperti endotel kornea yang terganggu, iritis, atrofi iris, rubeosis iridis, katarak, glaukoma, dan gangguan retina. (Pineda, 2016)

## 3. Prosedur tindakan

Pemeriksaan standar mata diperlukan untuk mengetahui apakah pasien sesuai dengan indikasi yang ditentukan untuk melakukan prosedur PIOL. Pemeriksaan tersebut seperti, pemeriksaan refraksi, pemeriksaan refraksi sikloplegik, ketajaman penglihatan jarak tidak terkoreksi (UDVA) dan ketajaman penglihatan jarak terkoreksi (CDVA), pengukuran pupillometry, tonometri apalanasi, *ultrasound anterior chamber depth* (ACD), topografi kornea, pachymetry, jumlah sel endotel pusat (ECC), dan funduskopi. (Tinwala, 2013)

Konsultasi antara pasien dan ahli bedah diperlukan agar dapat memilih jenis anestesi, baik topikal, intraokular, lokal, atau umum. Proses preoperatif dilanjutkan dengan mengoleskan povidone iodine pada kulit periorbital, margin

kelopak mata, dan forniks konjungtiva. Setelah itu, mencuci mata dengan menggunakan cairan saline. Spekulum mata juga dapat digunakan untuk membuat area yang akan dioperasi lebih terlihat. (Verma, 2016)

Prosedur PIOL terbagi menjadi 3 sesuai dengan jenisnya. Prosedur pada pasien yang menjalani implantasi *angle-supported anterior chamber* akan dilakukan insisi korneoskleral 6,00 mm dibuat di meridian paling curam. Sayatan yang lebih kecil diperlukan untuk lensa yang dapat dilipat. Insisi terowongan 1 mm ditempatkan di limbus atau di kornea yang jelas. *Anterior chamber* diirigasi dengan asetilkolin dan kemudian diisi dengan bahan viskoelastik. Lembaran silikon 5.00-mm dimasukkan ke dalam *anterior chamber*, dan lebih banyak bahan viskoelastik disuntikkan di atas lembaran silikon. Phakic IOL disimpan pada optik dengan forcep Kelman-McPherson, dan *inferior haptic* dimasukkan ke dalam ruang anterior. Dengan forcep mendorong hingga tepi superior dari zona optik, IOL dengan hati-hati akan meluncur di atas silikon. Lembaran silikon sampai kedua ujung *inferior haptic* bersentuhan dengan sudut. Kemudian, lembaran silikon dilepaskan dari *anterior chamber*. *Haptic* atas didorong dengan lembut ke *anterior chamber* dan ujung posterior luka menggunakan manipulator nukleus ujung ganda. Phakic IOL diputar, menggunakan *Sinsky* atau *Lester hook*, ke meridian horizontal. Selama manuver ini, perawatan khusus dilakukan untuk mencegah kerusakan pada struktur sudut. Pada sayatan temporal atau *nasal incisions*, manuver rotasi ini tidak diperlukan. Dilakukan iridektomi perifer dengan panjang 0,5-1 mm. Jika pupil tidak bulat, *Sinsky hook* digunakan untuk mendorong haptic menjauh dari sudut yang kemudian *hook* dilepaskan. Penting

untuk memastikan bahwa lensa terpusat dengan baik, pupil benar-benar bulat, dan tidak ada kekuatan traksi dari *haptic footplate* yang ada pada iris. Jahit sayatan dengan menggunakan nilon, tetapi sebelum ikatan diikat, semua bahan viskoelastik dihilangkan dengan hati-hati dengan larutan garam seimbang. Akhirnya, jahitan diikat. Jika sayatan limbal digunakan, jahitan nilon digunakan untuk menutup *flap* konjungtiva. Setelah sayatan ditutup, pemeriksaan gonioskopik dilakukan untuk memvisualisasikan ujung *haptic* dan untuk memverifikasi bahwa mereka berada dalam posisi yang baik dan tidak ada iris mata. (Verma, 2016)

Pada prosedur *anterior chamber iris-fixated* PIOL, pupil dimiosiskan dengan miotik tetes, dan prosedur dilakukan di bawah anestesi peribulbar. Dua parasentesis diciptakan, dan *anterior chamber* akan dipenuhi dengan viskoelastik. Sayatan limbal dibuat, biasanya di bagian paling curam meridian kornea, yang kira-kira sama dengan diameter lensa optik. PIOL kemudian dimasukkan dan diputar ke posisi horizontal. Lipatan iris perifer kemudian dijepit dengan menggunakan forceps tipis proses ini disebut enclavation. Bedah perifer iridotomi dilakukan. Sayatan ditutup dengan jahitan yang sesuai dan viskoelastik saat itu dihapus. (Hassaballa, 2011)

Mata yang menjalani implantasi PIOL *posterior chamber*, pupil dimidriasikan dengan tetes midriatik, dan prosedur dilakukan di bawah anestesi peribulbar. Kornea bening temporal 3,2 mm sayatan dibuat, serta 1 atau 2 parasentesis. Itu *anterior chamber* dipenuhi dengan viskoelastik. PIOL kemudian dimasukkan ke *anterior chamber*, sejajar dengan bagian anterior dan bidang iris, lalu dibiarkan

terbuka. Setiap sudut *footplates* diselipkan di bawah iris. Setelah PIOL diposisikan dengan baik, viskoelastik telah dibersihkan, iridotomi bedah perifer dilakukan, dan luka pada kornea diperiksa integritasnya. (Hassaballa, 2011)

#### 4. Komplikasi

Komplikasi dapat dialami beberapa pasien. Komplikasi secara umum yang dapat terjadi seperti, endophthalmitis pascaoperasi, perdarahan retrobulbar, dan efek samping sistemik yang mengancam jiwa dari injeksi tidak sengaja ke saraf optik walaupun sangat jarang. Perubahan letak lensa karena akomodasi, usia dan waktu juga dapat terjadi. (Tinwala, 2013)

#### 2.6.7 Refractive lens exchange (RLE)

##### 1. Pengertian dan indikasi

Teknik bedah *refractive lens exchange* (RLE) adalah teknik yang populer digunakan pada pasien prebiopia dan tidak lagi terbatas untuk menjadi pilihan lain pada pasien yang tidak dapat melakukan prosedur keratorefraktif. RLE sering merupakan pilihan bedah terbaik untuk pasien presbiopia yang lebih tua, karena berfokus pada alasan utama pengembangan presbiopia (lensa kristalin yang menua) dan mencegah pembentukan katarak di masa depan. Mengoreksi presbiopia dan membuat pasien usia lanjut terbebas dari ketergantungan dalam pemakaian kacamata pada pasien tanpa patologi okular anatomi dan mempunyai panjang aksial bola mata yang normal juga merupakan indikasi penting untuk RLE. RLE juga dapat dilakukan pada pasien yang lebih muda yang berusia mulai 45 tahun. (Scallhorn, 2017)

RLE dapat ditoleransi dengan baik dan efektif untuk koreksi miopia sedang hingga parah dan hiperopia. Lensa intraokular monofokal, torik, multifokal, dan akomodatif semuanya digunakan berdasarkan kebutuhan dan harapan pasien. Karena RLE menyebabkan hilangnya akomodasi, terlepas dari adanya lensa multifokal dan akomodatif, prosedur ini sebaiknya dihindari ketika lensa alami masih berfungsi. (Henderson, 2016)

## 2. Prosedur tindakan

Pemeriksaan pra operasi untuk RLE meliputi *cornealtopography* dan *optical coherence tomography* (OCT) (Henderson, 2016) Operasi penggantian lensa biasanya memakan waktu sekitar 15 menit dan dilakukan secara rawat jalan. Setiap mata dilakukan secara terpisah, biasanya terpisah sekitar satu minggu. Tetes anestesi digunakan selama RLE, jadi biasanya tidak ada rasa tidak nyaman, dan kebanyakan orang melaporkan peningkatan penglihatan segera setelah operasi. Dokter bedah akan menciptakan sayatan kecil di mata, di mana lensa akan dimasukkan. Teknologi ultrasound canggih kemudian akan digunakan untuk menghilangkan lensa kristal alami mata. Melalui instrumen khusus dan presisi ini disebut phacoemulsifier, selanjutnya lensa alami kemudian dilepas. Lensa alami diganti dengan lensa buatan baru yang dapat dilipat. Lensa baru dibuka dan menggantikan lensa alami, agar pergantian lebih mudah. Prosedur ini selesai, tanpa perlu jahitan, memungkinkan proses penyembuhan diri yang cepat. Prosedur ini biasanya memakan waktu kurang dari 15 menit per mata. Pascaoperasi, pasien diinstruksikan untuk memberikan satu tetes levofloxacin 0,5%, empat kali sehari selama 2 minggu, satu tetes deksametason 0,1%, empat

kali sehari selama 2 minggu, dan satu tetes ketorolac trometamol 0,5%, empat kali sehari selama 1 bulan. (Scallhorn, 2017)

### 3. Komplikasi

Komplikasi yang dapat dialami pasien setelah dijalankannya prosedur antara lain, ablasi retina terutama pada orang yang menderita rabun jauh dengan preskripsi dioptri tinggi, dislokasi IOL, ptosis, *glare*, *halo* dan penglihatan kabur dari IOL multifokal. (Henderson, 2016)

#### 2.6.8 *Small incision lenticule extraction* (SMILE)

##### 1. Pengertian

SMILE merupakan prosedur refraktif laser yang lebih baru. Pada dasarnya, ini melibatkan pembuatan *lenticule* intrastromal dan sayatan perifer menggunakan laser femtosecond, diikuti oleh diseksi dan pelepasan *lenticule* stromal. (Yung, 2017) Dengan menghindari pembentukan *flap* kornea, SMILE dianggap dapat meningkatkan stabilitas biomekanik kornea dibandingkan dengan LASIK karena gangguan minimal dari jaringan kolagen perifer di stroma anterior yang menyumbang sekitar 60% dari total kekuatan tarik kornea. (Moshirfar, 2019)

##### 2. Indikasi

SMILE menerima persetujuan Badan Pengawasan Obat dan Makanan Amerika Serikat (FDA) pada tahun 2016 untuk pengobatan miopia dari -1 D hingga -8 D dan astigmatisma hingga -0,5 D, dengan *manifest refraction spherical equivalent* (MRSE) kurang dari atau sama dengan - 8,25 D pada pasien berusia 22 tahun atau lebih tua. SMILE juga telah menerima persetujuan Conformité Européene untuk

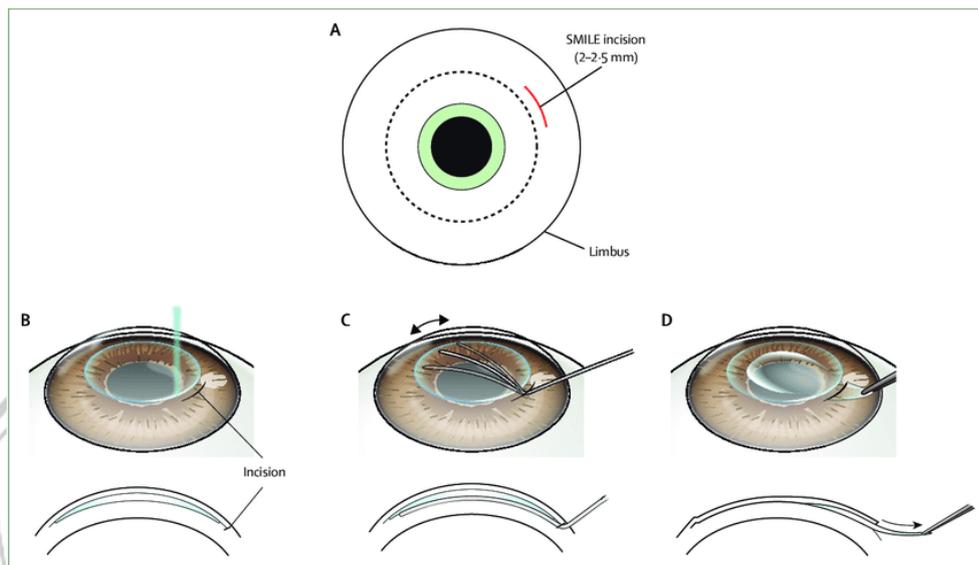
koreksi MRSE hingga -11,5 D, termasuk -10 D miopia dan -3 D miopia astigmatisma. (Titiyal, 2018)

### 3. Prosedur tindakan

Semua mata akan dievaluasi sebelum operasi dan pascaoperasi untuk ketajaman visual jarak yang dikoreksi (CDVA), ketajaman visual jarak tidak dikoreksi (UDVA), dan *manifest refraction spherical equivalent* (MRSE) sebelum dan sesudah sikloplegia dengan dua tetes topikal tropicamide 1%, autorefraksi / keratometri, *biomicroscopy slit-lamp*, pemeriksaan fundus, dan tonometri applanasi. (Kanelopoulos, 2017)

Langkah pertama laser femtosecond SMILE adalah docking dan sayatan. Mata ditempatkan di bawah platform laser dan kaca kontak melengkung, dan ahli bedah melihat ke mata melalui mikroskop bedah. Lampu indikator hijau yang dapat dilihat melalui mikroskop, harus ditempatkan di tengah pupil. Untuk memastikan konsentrasi yang tepat, pasien diminta untuk memusatkan perhatian pada lampu target, sementara ahli bedah menyesuaikan posisi meja operasi dan mata pasien, proses ini disebut *docking*. Dokter bedah kemudian menggerakkan meja ke atas sehingga sebagian kornea menyentuh ke kaca kontak. Setelah fokus didapatkan, dokter bedah akan menggunakan *negative suction* untuk menjaga mata tetap di tempatnya. Insisi dengan laser femtosecond kemudian dapat dimulai. Ada empat sayatan yang dibuat oleh laser femtosecond untuk menciptakan *lenticule* intralamellar. Sayatan pertama menciptakan bidang posterior *lenticule*. Sayatan kedua menciptakan potongan samping pada 90° tegak lurus terhadap tutup anterior sepanjang pinggirannya. Sayatan ketiga menciptakan tutup anterior

*lenticule* dengan melewati laser dari pusat ke pinggir secara spiral, melengkapi ukiran *lenticule* intralamellar. Sayatan keempat adalah sayatan kecil 2 sampai 5mm sepanjang lingkaran tutup anterior untuk memungkinkan ekstraksi *lenticule*. (Yung, 2017)



(Barrio, 2019)

Gambar 2.5  
Gambaran Prosedur SMILE

Setelah sayatan dengan menggunakan laser femtosecond dilakukan, *suction* yang menjaga agar mata tetap di tempat bisa dilepaskan, dan *lenticule* stromal siap diekstraksi. Dokter bedah kemudian memasukkan spatula ke dalam sayatan samping untuk membedah sisa *lenticule* di sepanjang bidang anterior dan kemudian bidang posterior. Ketika bidang anterior dibedah, tepi permukaan posterior tidak dapat dilihat, yang sebaliknya berlaku ketika bidang posterior dibedah. Perbedaan penampilan ini membantu ahli bedah memastikan pembedahan di permukaan yang benar. Setelah pembedahan selesai dan tidak ada pelengkap yang tersisa, *lenticule* dapat diekstraksi dengan sepasang forseps. Segmen sisa jaringan kornea anterior ke *lenticule* sebagian besar terputus dari sisa

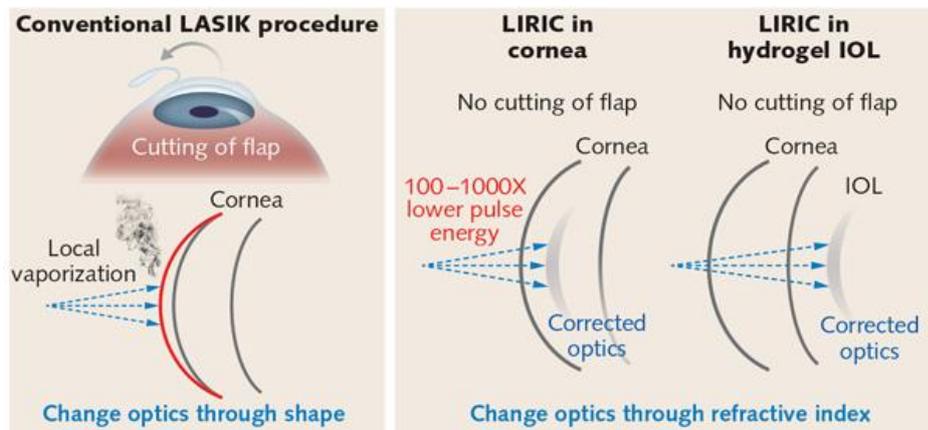
kornea, segmen ini dikenal sebagai *cap*. Perawatan harus dilakukan dengan benar agar tidak merusaknya. Beberapa ahli bedah mungkin mengirigasi ruang intralamellar, beberapa tidak. Akhirnya ujung sayatan samping diposisikan ulang dengan *brush*. Setelah operasi, steroid topikal, antibiotik, dan obat tetes mata pelumas diresepkan selama beberapa minggu. (Yung, 2017)

#### 4. Komplikasi

Berbagai komplikasi intraoperatif dapat ditemui selama aplikasi laser femtosecond, diseksi *lenticule*, dan ekstraksi. Komplikasi yang dapat terjadi saat pembuatan *lenticule* seperti, alat kehilangan daya isapnya, pembentukan *opaque bubble layer* (OBL), perdarahan subkonjungtiva, perdarahan insisional, dan bintik-bintik hitam. Komplikasi yang dapat terjadi pada saat diseksi *lenticule* dan ekstraksi *lenticule* seperti, abrasi kornea, adhesi *lenticule*, dan robekan insisional. Adapun komplikasi yang sering terjadi setelah dilakukan prosedur seperti, *dry eyes*, abrasi kornea, dan keratitis menular. (Moshirfar, 2019)

##### 2.6.9 Laser-induced refractive index correction (LIRIC)

LIRIC merupakan prosedur non-invasif yang menggunakan *femtosecond laser* untuk memperbaiki kelainan refraksi. Metode LIRIC menggunakan laser dengan daya yang jauh lebih rendah sehingga tidak memotong atau menghilangkan jaringan apapun pada saat digunakan. LIRIC bekerja dengan mengubah indeks bias pada jaringan kornea untuk memperbaiki penglihatan. Prosedur ini tidak membuat kornea menjadi tipis. (Ribeiro, 2019)



(Zheleznyak, 2016)

Gambar 2.6  
Perbedaan Prosedur LASIK dan LIRIC

Pada 2008, dikembangkan pendekatan baru untuk mengubah indeks bias kornea dengan metode *intratissue refractive index shaping* (IRIS). Alih-alih menghilangkan jaringan melalui *photodisruption*, laser *near infrared* (NIR) 27-fs pada 800 nm digunakan untuk memodifikasi indeks bias (RI) jaringan mata secara lokal dengan hamburan yang rendah. Perubahan RI yang dicapai berkisar antara 0,005 dan 0,01 dalam kornea postmortem yang tetap dan 0,015 dan 0,021 pada lensa yang tetap. Perubahan terpertahankan selama 1 bulan penyimpanan dalam larutan air. Namun, kecepatan pemindaian yang diperlukan untuk menginduksi perubahan RI ini sangat lambat yaitu  $0,7 \mu\text{m} / \text{s}$ , yang membatasi penggunaan teknik ini dalam aplikasi klinis. Penelitian yang dilakukan menunjukkan IRIS secara signifikan lebih efektif dalam jaringan kornea hidup dalam hal perubahan RI yang dapat dicapai dan kecepatan pemindaian, jika kornea pertama kali diberikan natrium fluorescein (Na-FI), yang meningkatkan sifat penyerapan dua fotonnya. Perubahan RI dapat dicapai dalam kornea hidup yang diberikan, berkisar antara 0,004 hingga 0,020, dengan perubahan RI terbesar adalah 0,020 pada kecepatan pemindaian  $0,5 \text{ mm} / \text{s}$  dalam jaringan yang diberikan dengan 1%

Na-Fl. Perubahan RI berbanding terbalik dengan kecepatan pemindaian dan meningkat secara monoton dengan konsentrasi pemberian Na-Fl. Namun, meskipun IRIS secara signifikan ditingkatkan oleh pemberian Na-Fl pada kornea, epitel kornea bertindak sebagai penghalang dan perlu dikerok untuk memungkinkan Na-Fl menembus ke dalam stroma kornea. Pengangkatan epitel menciptakan luka permukaan dan respon penyembuhan luka di kornea yang mengganggu kualitas optik dan menciptakan komplikasi yang signifikan baik untuk studi hewan hidup dan aplikasi manusia. (Xu, 2011)

Prosedur kemudian dikembangkan menjadi *blue-IRIS*. Prosedur ini merupakan proses baru dimana laser *blue femtosecond laser* yang pada prosedur IRIS digunakan *titanium-sapphire femtosecond laser* yang kemudian difokuskan menjadi suatu material, menyebabkan perubahan indeks bias (RI) dari material di bawah ambang batas kerusakan daya laser. Proses ini disebabkan oleh penyerapan nonlinier dan terlokalisasi ke wilayah intensitas yang lebih tinggi dalam volume fokus. (Xu, 2011) Dengan memindai wilayah melalui bahan, pola RI yang bervariasi secara spasial dapat dibuat. RI yang bervariasi secara spasial ini dapat dirancang untuk membuat perangkat refraktif. (Yu, 2019)

Prosedur ini sekarang dimutakhirkan dengan nama *laser-induced refractive index change (LIRIC)*. LIRIC dilakukan pada panjang gelombang 405 nm, yang berada di ujung biru dari spektrum yang terlihat. Pada panjang gelombang ini, LIRIC memproses penyerapan 2-foton dan menghasilkan perubahan indeks bias yang terlokalisasi. (Knox, 2019) Dalam volume fokus laser (sekitar 5–10  $\mu\text{m}$

dalam diameter dan panjangnya), tanpa menghilangkan atau mengganggu jaringan, prosedur ini akan mengubah densitas kolagen fibril. (Zheleznyak, 2016)

