

**PERBANDINGAN PERUBAHAN ARSITEKTUR LUKA
KORNEA DAN ASTIGMATISME PADA INSISI *CLEAR*
KORNEA ANTARA INSISI UNIPLANAR DAN BIPLANAR
PASCA FAKOEMULSIFIKASI DENGAN MENGGUNAKAN
OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY SEGMENT
ANTERIOR DAN TOPOGRAFI KORNEA**

**Comparison of Post-Surgical Of Corneal Wound Architectural and
Astigmatic Changes In Clear Corneal Incision between Uniplanar and
Biplanar Incisions after Phacoemulsification Using Anterior Segment
Optical Coherence Tomography and Corneal Topography**

SRI HANDAYANI



**PROGRAM STUDI ILMU KESEHATAN MATA
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

**PERBANDINGAN PERUBAHAN ARSITEKTUR LUKA
KORNEA DAN ASTIGMATISME PADA INSISI *CLEAR*
KORNEA ANTARA INSISI UNIPLANAR DAN BIPLANAR
PASCA FAKOEMULSIFIKASI DENGAN MENGGUNAKAN
OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY SEGMENT
ANTERIOR DAN TOPOGRAFI KORNEA**

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk gelar dokter spesialis-1

Program Studi Ilmu Kesehatan Mata

Disusun dan diajukan oleh

SRI HANDAYANI

Kepada

**PROGRAM PENDIDIKAN DOKTER SPESIALIS-1 (SP-1)
PROGRAM STUDI ILMU KESEHATAN MATA
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

PERBANDINGAN PERUBAHAN ARSITEKTUR LUKA KORNEA
DAN ASTIGMATISME PADA INSISI *CLEAR* KORNEA ANTARA
INSISI UNIPLANAR DAN BIPLANAR PASCA
FAKOEMULSIFIKASI DENGAN MENGGUNAKAN *OPTICAL
COHERENCE TOMOGRAPHY* SEGMENT ANTERIOR DAN
TOPOGRAFI KORNEA

Disusun dan diajukan oleh

Sri Handayani

Nomor Pokok : C10 2216 202

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Ilmu Kesehatan Mata Fakultas
Kedokteran Universitas Hasanuddin


pada tanggal 29 Juni 2022


dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



dr. Muh. Abrar Ismail, Sp.M(K), M.Kes
NIP. 198010162009121002


dr. Hasnah Eka, Sp.M(K), M.Kes
NIP. 197405222003012002

Ketua Program Studi,

Dekan Fakultas Kedokteran,


dr. Muh. Abrar Ismail, Sp.M(K), M.Kes
NIP. 198010162009121002


Prof. Dr. dr. Haerani Rasyid, M.Kes, Sp.PD-KGH, Sp.GK
NIP. 196805301996032001

**PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN
PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis yang berjudul "Perbandingan Perubahan Arsitektur Luka Kornea dan Astigmatisme pada Insisi *Clear* Kornea Antara Insisi Uniplanar dan Biplanar Pasca Fakoemulsifikasi dengan Menggunakan *Optical Coherence Tomography* Segmen Anterior dan Topografi Kornea" adalah benar karya saya dengan arahan komisi pembimbing dr. Muh. Abrar Ismail, Sp.M(K), M.Kes, dr. Hasnah Eka, Sp.M (K), M.Kes dan dr. Muh. Firdaus Kasim, MSc. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, Juni 2022



Sri Handayani
C10 2216 202

PRAKATA

Puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan tesis dengan judul **“PERBANDINGAN PERUBAHAN ARSITEKTUR LUKA KORNEA DAN ASTIGMATISME PADA INSISI CLEAR KORNEA ANTARA INSISI UNIPLANAR DAN BIPLANAR PASCA FAKOEMULSIFIKASI DENGAN MENGGUNAKAN OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY SEGMENT ANTERIOR DAN TOPOGRAFI KORNEA”** sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan Program pada Ilmu Kesehatan Mata Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin Makassar.

Keberhasilan penyusunan tesis ini merupakan hasil bimbingan, kerja keras, kerjasama, serta bantuan dari berbagai pihak yang telah diterima penulis sehingga segala rintangan yang dihadapi selama penelitian dan penyusunan tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada dr. Muhammad Abrar Ismail, Sp.M(K), M.Kes, dr. Hasnah Eka, Sp.M (K), M.Kes dan dr. Muh. Firdaus Kasim, MSc. sebagai pembimbing atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan mulai dari pengembangan minat terhadap permasalahan penelitian ini, pelaksanaan sampai dengan penulisan tesis ini. Apresiasi yang setinggi-tingginya juga penulis sampaikan kepada dr. Hamzah, Sp.M(K), dr.Junaedi Sirajuddin, Sp.M(K) sebagai penguji yang memberikan kritik dan saran dalam menyempurnakan penelitian ini.

Pada kesempatan ini, penulis juga mengucapkan terima kasih dan penghargaan secara tulus dan ikhlas kepada yang terhormat:

1. Rektor Universitas Hasanuddin, Dekan Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin Ketua Tim Koordinasi Program Pendidikan Dokter Spesialis Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin atas kesediaannya menerima penulis sebagai peserta didik di Program Pendidikan Dokter Spesialis Universitas Hasanuddin.
2. Dr. Andi Muhammad Ichsan, Ph.D, Sp.M(K), Ketua Departemen Ilmu Kesehatan Mata Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin, penasehat akademik dan pembimbing karya akhir-tesis saya yang selalu memberi bimbingan, semangat, serta nasehat selama penulis menjalani proses pendidikan.

3. dr. Muhammad Abrar Ismail, Sp.M(K), M.Kes, selaku Ketua program Studi Ilmu Kesehatan Mata dan Dosen Bagian Ilmu Kesehatan Mata Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin atas bimbingan, masukan, dan kemudahan yang diberikan kepada penulis sejak awal hingga terselesaikannya karya ini dengan baik, serta kepercayaan, dukungan dan nasehat bagi penulis.
4. Seluruh Staf Departemen Ilmu Kesehatan Mata Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin dan juga kepada guru-guru kami, Prof. Dr. dr. Rukiah Syawal, Sp M(K), dr. Rahasiah Taufik, Sp.M(K), Dr. dr. Habibah Setiawati Muhiddin, Sp.M(K), Prof. dr. Budu, Ph.D, Sp.M(K), M.Med.Ed, Dr. dr. Halimah Pagarra, Sp.M(K), dr. Suliati P. Amir, Sp.M, M.edEd, Dr. dr. Batari Todja, Sp.M(K), Dr. dr. Purnamanita Syawal, Sp.M, M.Kes, dr. Andi Tenrisanna Devi, Sp.M(K) M.Si, M.Kes, Dr. dr. Noor Syamsu, Sp.M(K), MARS, M.Kes, dr. Muliasnaeny, Sp.M, Dr. dr. Yunita, Sp.M(K), Dr. dr. Marlyanti N. Akib, Sp.M(K), M.Kes, dr. Soraya Taufik, Sp.M, M.Kes, dr. Hasnah Eka, Sp.M(K) , dr. Ruslinah HTM, Sp.M, dr. Azhar Farid, Sp.M, M.Kes, dr. Ahmad Ashraf, Sp.M(K), MPH, dr. Adelina T. Poli, Sp.M, dr. Ririn Nislawaty, Sp.M, M.Kes., dr. Ratih Natasya, Sp.M, M.Kes, dr. Nursyamsi, Sp.M, M.Kes., dr. Andi Pratiwi, Sp.M, M.Kes, dr. Andi Akhmad Faisal, Sp.M, M.Kes, dr. Rani Yunita Patong, Sp.M, dr. Andi Suryanita Tadjuddin, SpM, dr. Idayani Panggalo, Sp.M, dr. Muh. Irfan Kamaruddin, Sp.M, MARS dan dr. Dyah Ayu Windy, Sp.M atas segala bentuk bimbingan, nasehat, dan setiap kesempatan yang telah diberikan dalam proses pendidikan. Kiranya Allah SWT membalas semua kebaikan guru-guru kami dengan balasan yang terbaik. Semoga ilmu yang diajarkan dapat menjadi ilmu yang bermanfaat bagi semua.
5. Kedua orang tua saya yaitu ayahanda saya Dr.dr.Leo Prawirodihardjo, Ph.D, Sp.OG(K) MARS, ibunda saya Dr.A.Haerani,SKM,M.Kes serta suami tercinta saya dr.Willy Akbar,Sp.OG, M.Kes dan saudara/l saya dr.Shila Rubianti dan dr.Haryo Wiryanto atas segala doa, kasih sayang, kesabaran, dukungan baik secara moril dan materil serta pengertian selama proses pendidikan ini.
6. Seluruh senior, teman angkatan Mata 8 yang sudah menjadi sahabat saya selama pendidikan ini serta teman sejawat peserta PPDS Bagian Ilmu Kesehatan Mata Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin, yang telah

selalu memberikan semangat, segala bentuk dukungan dan kerja samanya selama penulis menjalani pendidikan ini.

7. Terimakasih yang tak terhingga pula penulis sampaikan kepada seluruh Staff Administrasi Departemen Ilmu Kesehatan Mata yang selama ini begitu banyak membantu selama proses pendidikan berjalan serta dalam penyelesaian penelitian dan karya akhir ini, terkhusus kepada ibu Endang Sri wahyuningsih, SE, Nurul Puspita, Mutmainnah Burhanuddin, Masita Rahmatullah, SKM, dan Sudirman yang selalu siap membantu.
8. Seluruh paramedis di RS Pendidikan UNHAS dalam melakukan penelitian ini kak ilyas dan kak dude yang sudah senantiasa membantu penulis dalam melakukan pemeriksaan dalam penelitian ini.
9. Semua pihak yang telah membantu baik secara material maupun moril dalam penyelesaian tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penelitian yang telah dibuat ini masih sangat jauh dari kesempurnaan sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi penyempurnaan tesis ini.

Semoga tesis memberikan manfaat dalam perkembangan ilmu pengetahuan pada umumnya serta Ilmu Kesehatan Mata pada khususnya di masa yang akan datang.

Makassar, Juni 2022

Sri Handayani

ABSTRAK

Sri Handayani. Perbandingan perubahan arsitektur luka kornea dan astigmatisme pada insisi *clear* kornea antara insisi uniplanar dan biplanar pasca fakoemulsifikasi dengan menggunakan *optical coherence tomography* segmen anterior dan topografi kornea (dibimbing oleh Muh. Abrar Ismail, Hasnah Eka, Muh. Firdaus Kasim).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi arsitektur penyembuhan luka insisi kornea dan astigmatisme setelah operasi fakoemulsifikasi

Desain Penelitian ini menggunakan kohort prospektif yang dilakukan pada 51 penderita katarak senilis yang menjalani fakoemulsifikasi terdiri 25 penderita dengan tipe insisi uniplanar dan 26 penderita dengan insisi biplanar. Perubahan arsitektur luka dan astigmatisme dinilai pre-operatif dan post-operatif (H+1, H+7, H+14, H+21) menggunakan *optical coherence tomography* anterior dan topografi kornea. Kami menemukan tidak terdapat perbedaan bermakna ($p=0,18$) luka operasi antara insisi uniplanar dan biplanar pada H+1. Penyembuhan luka operasi terlihat pada H+7 setelah operasi untuk insisi uniplanar. Sebaliknya, belum terjadi penyembuhan luka operasi pada insisi biplanar. Pada H+7 terdapat perbedaan bermakna ($p=0,000$) antara luka operasi dengan insisi uniplanar dan biplanar. Penyembuhan luka yang signifikan pada uniplanar juga teramati pada H+14 ($p=0,000$) dan H+21 ($p=0,000$) dibandingkan insisi biplanar. Astigmatisme antara pre-operatif dan H+14 tidak signifikan ($p>0,05$).

Hasil penelitian menunjukkan insisi uniplanar lebih baik dalam proses penyembuhan luka operasi yang lebih cepat dibandingkan insisi biplanar. Kedua jenis ini tidak menyebabkan peningkatan astigmatisme post-operatif.

Kata kunci : fakoemulsifikasi, insisi clear corneal, katarak senilis, arsitektur luka, astigmatisme

ABSTRACT

Sri Handayani. Comparison of Post-Surgical Of Corneal Wound Architectural and Astigmatic Changes In Clear Corneal Incision between Uniplanar and Biplanar Incisions after Phacoemulsification Using Anterior Segment Optical Coherence Tomography and Corneal Topography (supervised by Muh. Abrar Ismail, Hasnah Eka, Muh. Firdaus Kasim).

This study aimed to evaluate the architecture of wound healing and astigmatism after this surgery.

This prospective cohort study was conducted on 51 senile cataract patients undergoing phacoemulsification consisting of 25 patients with uniplanar incision and 26 patients with biplanar incision. Changes in wound architecture and astigmatism were assessed pre-operatively and post-operatively (D1, D7, D4, D21) using *optical coherence tomography* anterior and corneal topography. We found that there was no significant difference ($p=.18$) in surgical wound between uniplanar and biplanar incision at D1. Surgical wound healing was observed at D7 postoperative for a uniplanar incision. On the other hand, there was no surgical wound healing in the biplanar incision group. At D7, there was a significant difference ($p=.000$) between surgical wounds with uniplanar and biplanar incisions. Significant uniplanar wound healing was also observed at D14 and D21 (all $p=0.000$) compared with biplanar incisions.

In addition, astigmatism between pre-operative and D14 was not significant ($p>.05$). Therefore, the uniplanar incision is better in term of faster surgical wound healing compared it biplanar. Neither of insicions type resulted in an increase in postoperative astigmatism.

Keywords: phacoemulsification, clear corneal incision, senile cataract, wound architecture, astigmatism

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN	vi
PRAKARTA	v
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.3.1 Tujuan Umum	3
1.3.2 Tujuan Khusus	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Anatomi Kornea.....	5
1. Epitelium	6
2. Membran Bowman	6
3. Stroma	7
4. Membran Descement	8
5. Endotelium	8
2.2 Limbus	9

2.3 Topografi Kornea	11
2.3.1 Definisi	11
2.3.2 Sejarah	11
2.3.3 Zona Topografi Kornea	12
1. Zona Sentral	12
2. Zona Parasentral	13
3. Zona Perifer	13
4. Zona Limbal	13
2.3.4 Videokeratoskopi Terkomputerisasi: Topografer Kornea Modern Topografi	14
2.3.5 Peta/ <i>Mapping</i>	15
1. Peta dengan skala absolut	16
2. Peta Isometrik	17
3. Peta dengan skala normal	17
4. Peta Numerik (16 atau 32 meridian)	17
5. Interpretasi Peta/ <i>Maps</i> Berwarna	18
6. Kegunaan Klinis	19
2.4 Teknik Fakoemulsifikasi.....	20
2.4.1 Fakoemulsifikasi	20
2.4.2 Teknik Sayatan/Insisi pada Fakoemulsifikasi.....	21
1. Insisi Kornea.....	21
2. Gambaran arsitektur luka insisi clear kornea menggunakan Optical Coherence Tomography (OCT) segmen anterior.....	23
3. Proses Penyembuhan Luka (<i>Wound Healing</i>) - Fakoemulsifikasi	24
4. Pengaruh luka insisi yang menginduksi astigmatisme pasca fakoemulsifikasi (<i>Surgical Induced Astigmatisme</i>)	32
2.5 Kerangka Teori	33
2.6 Kerangka Konsep	34
2.7 Hipotesis Penelitian	34

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Rancangan Penelitian	35
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	35
3.3	Populasi dan Sampel Penelitian	35
3.4	Kriteria Penelitian	36
3.4.1	Kriteria Inklusi	36
3.4.2	Kriteria Eksklusi	36
3.5	Definisi Operasional	37
3.6	Metode Pengumpulan Data	38
3.6.1	Alat dan bahan yang digunakan	38
3.6.2	Cara kerja	39
3.7	Identifikasi Variabel	39
3.8	Analisis Data	39
3.9	Izin Penelitian dan Etik Penelitian	39
3.10	Alur penelitian	40

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

41

4.1	Hasil	41
4.1.1	Karakteristik subyek penelitian	41
4.1.2	Arsitektur luka kornea dengan menggunakan <i>Optical Coherence Tomography</i> anterior setelah fakoemulsifikasi.....	42
4.1.3	Astigmatisme berdasarkan insisi <i>clear</i> kornea uniplanar pada diameter 3 mm dan diameter 5 mm	46
1.	Insisi <i>clear</i> kornea uniplanar pada diameter 3 mm	46
2.	Insisi <i>clear</i> kornea uniplanar pada diameter 5 mm	51
4.1.4	Astigmatisme berdasarkan insisi <i>clear</i> kornea biplanar, pada diameter 3 mm dan diameter 5 m.....	54
1.	Insisi <i>clear</i> kornea biplanar pada diameter 3 mm	54
2.	Insisi <i>clear</i> kornea biplanar pada diameter 5 mm	57
4.1.5	Astigmatisme antara insisi <i>clear</i> kornea uniplanar dan biplanar pada diameter 3 mm	60
4.1.6	Astigmatisme antara insisi <i>clear</i> kornea uniplanar dan biplanar pada diameter 5 mm	61

4.2 Pembahasan	62
4.2.1 Arsitektur penyembuhan luka insisi kornea	65
4.2.2 Astigmatisme setelah fakoemulsifikasi	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	72

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Karakteristik sampel penelitian	41
Tabel 4.2	Perbandingan arsitektur penyembuhan luka kornea setelah fakoemulsifikasi antara insisi clear corneal uniplanar dan biplanar	45
Tabel 4.3	Hubungan antara astigmatisme dan gap endotel	45
Tabel 4.4	Perbandingan astigmatisme pada diameter 3 mm antara insisi uniplanar dan biplanar	61
Tabel 4.5	Perbandingan axis pada diameter 3 mm antara insisi uniplanar dan biplanar	61
Tabel 4.6	Perbandingan astigmatisme pada diameter 5 mm antara insisi uniplanar dan biplanar	62
Tabel 4.7	Perbandingan axis pada diameter 5 mm antara insisi uniplanar dan biplanar	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur mikroskopis lapisan kornea (AAO External Disease and Cornea, 2019-2020)	6
Gambar 2.2	Sel Stroma (keratosit) : A. Fibroblast berbentuk pipih; B.Susunan antara lamella kolagen stroma	7
Gambar 2.3	Batas-batas limbus pada kornea. Limbus memisahkan konjungtiva dengan kornea (AAO Fundamental and Principle of Ophthalmology, 2019-2020)	10
Gambar 2.4	Gambaran dari slitlamp menunjukkan limbus korneoskleral (blue line/blue zone) dengan fibrovaskular (palisades dari Vogt). (AAO Fundamental and Principle of Ophthalmology, 2019-2020)	11
Gambar 2.5	Zona topografi kornea	14
Gambar 2.6	Bentuk Kerucut pada Videokeratoskop terdiri dari serangkaian cincin yang gelap dan terang dengan ukuran berbeda tergantung jumlah cincin dan merk pabrikan tertentu (Fan, 2018).	15
Gambar 2.7	Tampilan numerik yang menunjukkan sejumlah kekuatan kornea di beberapa meridian dalam tampilan radial (Fan, 2018)	18
Gambar 2.8	Insisi kornea uniplanar (1-plane) (Kuriakose, 2020)	21
Gambar 2.9	Insisi kornea biplanar (2-plane) (Kuriakose, 2020)	22
Gambar 2.10	Insisi kornea triplanar (3-plane) (Kuriakose, 2020)	22
Gambar 2.11	Gambaran histologi pada luka kornea <i>full thickness</i> pasca operasi katarak. Tampak hiperselularitas minimal pada luka yang disebabkan oleh fibrosis dan tidak adanya pembuluh darah di dalam atau di sekitar luka (AAO Ophthalmic Pathology and Intraocular Tumors, 2019-2020)	25
Gambar 2.12	Proses penutupan luka setelah insisi kornea (AAO Ophthalmic Pathology and Intraocular Tumors, 2019-2020)	25
Gambar 2.13	Faktor pertumbuhan dalam regulasi pemulihan kornea (AAO Ophthalmic Pathology and Intraocular Tumors, 2019-2020)	29
Gambar 2.14	Protease dalam regulasi pemulihan luka kornea (AAO Ophthalmic Pathology and Intraocular Tumors, 2019-2020)	27
Gambar 2.15	Kerangka teori	33
Gambar 2.16	Kerangka konsep	34
Gambar 3.1	Alur penelitian	40
Gambar 4.1	Gambaran luka kornea dari insisi uniplanar. Pada H+1 tampak <i>detachment membrane descement</i> dan terjadi penyembuhan luka insisi pada H+7 – H+14.	43

Gambar 4.2	Gambaran luka kornea dari insisi biplanar. Pada H+1 tampak <i>detachment membrane descement</i> dan terjadi penyembuhan luka insisi pada H+7 – H+21	44
Gambar 4.3	Box plot astigmatisme sebelum dan setelah operasi berdasarkan insisi uniplanar diameter 3 mm	46
Gambar 4.4	Gambaran topografi kornea pada insisi uniplanar	47
Gambar 4.5	Gambaran topografi kornea pada insisi biplanar	48
Gambar 4.6	Distribusi astigmatisme insisi uniplanar (n=25 sampel) diameter 3 mm pre-operatif sampai follow up H+1	49
Gambar 4.7	Distribusi astigmatisme insisi uniplanar (n=25 sampel) diameter 3 mm pre-operatif sampai follow up H+14	49
Gambar 4.8	Perubahan astigmatisme pada insisi uniplanar diameter 3 mm pre-operatif sampai follow up H+14	50
Gambar 4.9	Perubahan axis pada insisi uniplanar diameter 3 mm pre-operatif sampai follow up H+14	51
Gambar 4.10	Box plot astigmatisme sebelum dan setelah operasi berdasarkan insisi uniplanar diameter 5 mm	51
Gambar 4.11	Distribusi astigmatisme insisi uniplanar (n=25 sampel) diameter 5 mm pre-operatif sampai follow up H+1	52
Gambar 4.12	Distribusi astigmatisme insisi uniplanar (n=25 sampel) diameter 5 mm pre-operatif sampai follow up H+14	52
Gambar 4.13	Perubahan astigmatisme pada insisi uniplanar diameter 5 mm pre-operatif sampai follow up H+14	53
Gambar 4.14	Perubahan axis pada insisi uniplanar diameter 5 mm pre-operatif sampai follow up H+14	53
Gambar 4.15	Box plot astigmatisme sebelum dan setelah operasi berdasarkan insisi biplanar diameter 3 mm	55
Gambar 4.16	Distribusi astigmatisme insisi biplanar (n=26 sampel) diameter 3 mm pre-operatif sampai follow up H+1	55
Gambar 4.17	Distribusi astigmatisme insisi biplanar (n=26 sampel) diameter 3 mm pre-operatif sampai follow up H+14	56
Gambar 4.18	Perubahan astigmatisme pada insisi biplanar diameter 3 mm pre-operatif sampai follow up H+14	56
Gambar 4.19	Perubahan axis pada insisi biplanar diameter 3 mm pre-operatif sampai follow up H+14	57
Gambar 4.20	Box plot astigmatisme sebelum dan setelah operasi berdasarkan insisi biplanar diameter 5 mm	58

Gambar 4.21	Distribusi astigmatisme insisi biplanar (n=26 sampel) diameter 5 mm pre-operatif sampai follow up H+1	58
Gambar 4.22	Distribusi astigmatisme insisi biplanar (n=26 sampel) diameter 5 mm pre-operatif sampai follow up H+14	59
Gambar 4.23	Perubahan astigmatisme pada insisi biplanar diameter 5 mm pre-operatif sampai follow up H+14	59
Gambar 4.24	Perubahan axis pada insisi biplanar diameter 5 mm pre-operatif sampai follow up H+14	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Rekomendasi persetujuan etik	72
Lampiran 2	Formulir persetujuan mengikuti penelitian setelah mendapat penjelasan (<i>informed consent</i>)	73
Lampiran 3	Data pasien penelitian	74
Lampiran 4	Output hasil analisis	87
Lampiran 5	Biodata peneliti	108

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/singkatan	Arti dan keterangan
ASCRS	American Society of Cataract and Refractive Surgery
AS-OCT	Anterior segment optical coherence tomography
BSS	Balanced salt solution
Cas	Corneal analysis system
CCI	Clear corneal incision
CVK	Computerized videokeratography
DMD	Detachment membrane descement
EGF	Epithelial growth factor
EpD	Epithelial detachment or defect
FGF	Fibroblast growth factors
GE	Gap endotel
ICCE	Intracapsular cataract extraction
LoC	Loss of coaptation
MD	Membrane detachment
MinK	Minimum keratoscope reading
OCT	Optical coherence tomography
Sia	Surgically induced astigmatism
SimK	Simulated keratoscope reading
SRI	Surface regularity index
TGF	Transforming growth factor alpha
TMP	Topography modeling system
UCVA	Uncorrected visual aquity

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Operasi katarak merupakan prosedur bedah mata yang paling umum dilakukan. WHO mengestimasi operasi ini dilakukan 30 juta kali per tahun di seluruh dunia sejak tahun 2020. Fakoemulsifikasi merupakan salah satu prosedur operasi katarak yang menjadi pilihan sebagian dokter mata. Penelitian menunjukkan penggunaan teknik fakoemulsifikasi oleh anggota *American Society of Cataract and Refractive Surgery* (ASCRS) meningkat dari 12% pada tahun 1985 menjadi 79% di tahun 1992, dan meningkat 97% di tahun 2000. Kecenderungan operasi ini serupa juga dilaporkan di Eropa, Australia, dan Asia (Leaming, 2004; Spandau and Scharioth, 2014).

Teknik modern dalam operasi katarak bertujuan untuk mencapai ketajaman visual yang tidak dikoreksi (UCVA) yang lebih baik dan pemulihan pasca operasi yang cepat. Teknik insisi *clear cornea* (CCI) pertama kali diperkenalkan oleh Fine pada tahun 1992, umumnya digunakan dalam operasi fakoemulsifikasi. Teknik fakoemulsifikasi memiliki banyak keuntungan baik bagi operator maupun pasien (Nielsen, 1995; Jin, 2019).

Kelebihan utama teknik fakoemulsifikasi adalah ukuran insisi yang lebih kecil sehingga meminimalisir kerusakan jaringan, kurangnya inflamasi dan nyeri pasca operasi, dan stabilisasi refraktif yang lebih cepat dengan astigmatisme akibat operasi yang lebih minimal. Insisi yang lebih kecil juga mengurangi restriksi gerak fisik pasca operasi bagi pasien. Kelebihan lainnya adalah waktu operasi lebih efisien dan tingginya kepuasan pasien. Keuntungan-keuntungan ini mendorong banyak operator untuk beralih ke teknik fakoemulsifikasi (Nielsen, 1995; Jin, 2019).

Namun, ada beberapa laporan yang menunjukkan bahwa insisi *central* kornea dikaitkan dengan peningkatan risiko infeksi pasca operasi karena kebocoran dan dehiscence luka pasca operasi. Baru-baru ini, tomografi koherensi optik segmen anterior (AS-OCT), memungkinkan visualisasi ultrastruktur kornea secara *real time*, telah memungkinkan analisis kualitatif dari

perubahan struktural pada kornea. Penting untuk mengidentifikasi perubahan morfologi yang terkait dengan insisi *central* kornea dan faktor pra operasi yang mendukung pemulihan visual yang cepat dan untuk mengurangi risiko infeksi intraokular yang disebabkan oleh kebocoran luka. Beberapa penelitian telah menggunakan AS-OCT untuk menilai perubahan arsitektur jangka pendek dan jangka panjang di lokasi CCI setelah operasi katarak, adanya resiko celah endotel/ *gap* endotel meningkat seiring bertambahnya usia pasien dan insisi kornea yang panjang, celah endotel tersebut dapat mempengaruhi kelengkungan kornea pasca operasi fakoemulsifikasi (Rao *et al.*, 2003; Calladine and Packard, 2007; Fine, Hoffman and Packer, 2007).

Luka insisi yang lebih kecil pada teknik fakoemulsifikasi memungkinkan pemulihan luka (*wound healing*) yang lebih cepat. Beberapa penelitian melaporkan tingkat pemulihan luka insisi *clear cornea* pasca fakoemulsifikasi yang bervariasi, mulai dari minimal terjadinya *wound healing* setelah hari ke-2 sampai hari ke-7 pascafakoemulsifikasi. Adapun karakteristik penyembuhan luka ini bervariasi setiap hari, namun pada umumnya pemeriksaan difokuskan pada hari 1,3, dan 7 pasca tindakan ini. Karakteristik penyembuhan luka ini akan dinilai berdasarkan hasil pemeriksaan *Optical Coherence Tomography* (OCT) pada segmen anterior bolamata, terutama pada bagian limbus (Xia *et al.*, 2009; Foster *et al.*, 2018).

Astigmatisme yang diinduksi pasca fakoemulsifikasi menyebabkan perubahan kelengkungan kornea yang dapat terjadi akibat luka bakar kornea yang dihasilkan oleh phaco tip atau lebih umumnya dari insisi bedah. Astigmatisme yang diinduksi secara bedah (*surgically induced astigmatism*) merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi hasil refraksi yang diinginkan dan terkait dengan panjang, jenis, lokasi, struktur sayatan/insisi dan teknik penutupan dengan jahitan. Sebagian besar insisi *clear* kornea bagian temporal dan insisi limbal dengan panjang kurang dari 3 mm akan menyebabkan astigmatisme kurang dari 1 dioptri (AAO *Lens and Cataract*, 2019-2020).

Melalui penelitian ini diharapkan diperoleh informasi ilmiah tentang astigmatisme dan arsitektur penyembuhan luka yang terjadi setelah prosedur/tindakan fakoemulsifikasi pada penderita katarak senilis yang dilakukan

insisi secara korneal sehingga kami dapat menilai efikasi dari tindakan ini untuk penanganan katarak senilis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dalam latar belakang tersebut di rumuskan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Apakah terdapat perbedaan arsitektur luka setelah fakoemulsifikasi pada insisi *clear* kornea uniplanar dan biplanar?
2. Apakah terdapat perubahan astigmatisme sebelum dan setelah fakoemulsifikasi pada insisi *clear* kornea uniplanar dan biplanar?
3. Apakah terdapat perubahan axis sebelum dan setelah fakoemulsifikasi pada insisi *clear* kornea uniplanar dan biplanar?
4. Adakah hubungan antara arsitektur luka kornea terjadinya *gap* endotel kornea dengan astigmatisme pasca fakoemulsifikasi?

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Untuk mengevaluasi arsitektur luka dan astigmatisme pada insisi *clear* kornea uniplanar dan biplanar setelah fakoemulsifikasi dengan menggunakan *Optical Coherence Tomography* anterior dan topografi kornea di penderita katarak senilis.

1.3.2 Tujuan Khusus

1. Menilai arsitektur luka insisi *clear* kornea uniplanar dan biplanar setelah fakoemulsifikasi.
2. Mengevaluasi perubahan astigmatisme sebelum dan setelah fakoemulsifikasi pada insisi *clear* kornea uniplanar dan biplanar.
3. Mengevaluasi perubahan axis sebelum dan setelah fakoemulsifikasi pada insisi *clear* kornea uniplanar dan biplanar
4. Menilai hubungan antara arsitektur penyembuhan luka insisi *clear* kornea pada tipe *gap* endotel dengan terjadinya astigmatisme setelah fakoemulsifikasi.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi ilmiah tentang perubahan arsitektur luka insisi *clear* kornea pada pasien katarak senilis pasca fakoemulsifikasi.
2. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.
3. Hasil penelitian sebagai pertimbangan untuk memilih teknik insisi uniplanar atau insisi biplanar yang lebih cepat proses penyembuhan luka insisi dan meminimalisir terjadinya astigmatisme setelah fakoemulsifikasi.
4. Rumah Sakit Universitas Hasanuddin dapat memberikan tindakan atau penanganan katarak senilis yang lebih baik sehingga kualitas hidup penderita katarak senilis lebih baik.

BAB II

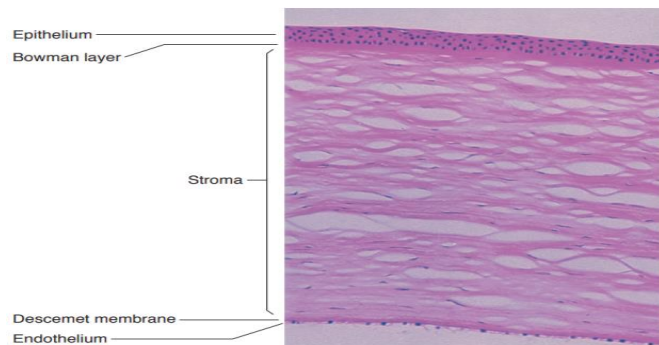
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 ANATOMI KORNEA

Kornea merupakan jaringan yang tidak mengandung pembuluh darah (transparan) dan sebagai media refrakta dengan diameter horizontal kornea 11-12 mm dan vertikal kornea 10-11 mm. Indeks refraksi kornea sebesar 1.376, kornea bersifat asferik meskipun radius kurvatura berbentuk konveks sferosilindris, mewakili permukaan sentral kornea anterior, disebut juga *corneal caps* (AAO External Disease and Cornea, 2019-2020; AAO Fundamental and Principle of Ophthalmology, 2019-2020).

Radius kurvatura kornea sentral rata-rata 7,8 mm. Kornea berkontribusi sebanyak 74% atau 43,25 dioptri (D) dari seluruh 58,60 D daya normal mata manusia. Kornea juga sebagai sumber terbesar penyumbang kelainan refraksi astigmatisma. Untuk nutrisinya, kornea tergantung difusi glukosa dari akuos humor dan difusi oksigen dalam *tearfilm*. Bagian kornea perifer mendapat suplai oksigen dari sirkulasi limbal (AAO External Disease and Cornea, 2019-2020; AAO Fundamental and Principle of Ophthalmology, 2019-2020).

Kornea merupakan salah satu dari bagian tubuh yang memiliki serabut saraf terbanyak. Sensitivitas kornea 100 kali dibandingkan konjungtiva. Serabut saraf sensoris dimulai dari *long ciliary nerves* dan membentuk pleksus subepitelial. Neurotransmitter kornea di antaranya asetilkolin, katekolamin, *substance P*, *calcitonin gene-related peptide*, neuropeptida, intestinal peptida, galanin, dan metionin-enkepalin (AAO External Disease and Cornea, 2019-2020; AAO Fundamental and Principle of Ophthalmology, 2019-2020).



Gambar 2.1. Struktur mikroskopis lapisan kornea (AAO External Disease and Cornea, 2019-2020).

Secara histologis (gambar 2.1), kornea terdiri dari beberapa lapisan antara lain :

1. Epitelium

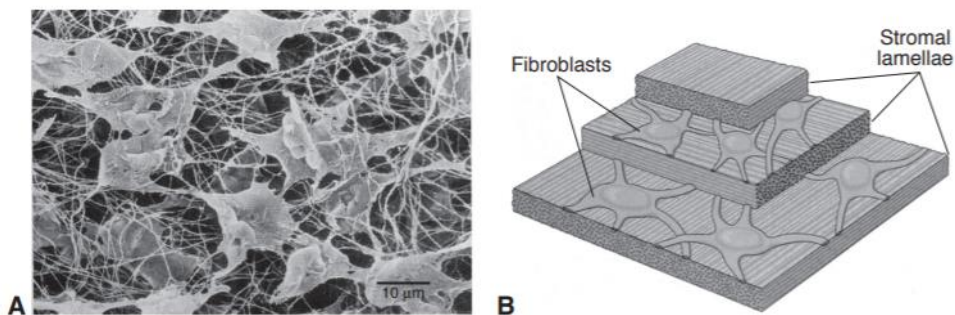
Epitel kornea tersusun oleh 4-6 lapisan, termasuk 1-2 lapisan superfisial sel epitel skuamous bertingkat, dan sebagai penyumbang ketebalan kornea 5-10% sekitar 40-50 μm . Secara optik, sel epitel membentuk suatu permukaan halus. Ikatan erat di antara sel-sel epitelial superfisial ini berguna untuk mencegah masuknya cairan air mata ke dalam stroma. Proliferasi sel-sel epitelial basal perilimbal secara terus-menerus (*limbal stem cells*) memungkinkan lapisan lain untuk berdiferensiasi menjadi sel superfisial. Sel yang matang terbungkus oleh mikrovili pada lapisan luarnya dan kemudian terjadi deskuamasi menjadi air mata. Proses diferensiasi berlangsung 7-14 hari. Sel-sel epitelial basal akan terus memproduksi, ketebalan membran *basement* 50-nm, mengandung kolagen tipe IV, laminin, dan protein lain. Kejernihan kornea tergantung pada ikatan antara sel-sel epitel agar membentuk lapisan yang mendekati refraksi indeks dan minimal *light scattering* (AAO External Disease and Cornea, 2019-2020).

2. Membran Bowman

Membran bowman merupakan lapisan superfisial bersifat aseluler terbentuk dari fibril kolagen dengan ketebalan 15 μm . Lapisan ini bukan lapisan membrana elastis sebenarnya tetapi merupakan bagian dari stroma berfungsi sebagai resistensi infeksi. Sekali rusak, tidak terjadi regenerasi (AAO External Disease and Cornea, 2019-2020).

3. Stroma

Sel-sel stroma tersusun teratur dengan ketebalan 0,5 mm dan berkontribusi sebagai lapisan yang paling tebal yakni 90% dari seluruh ketebalan kornea. Faktor yang menyebabkan kornea jernih atau bersifat jernih karena penataan sel stroma (keratosit), serat, dan matriks ekstraseluler yang teratur. Keratosit bervariasi dalam ukuran dan kepadatan di seluruh stroma dan membentuk jaringan 3 dimensi di seluruh kornea, antara lain fibroblas yang berbentuk pipih dimana terletak di antara lamella kolagen stroma (Gambar 2.2). Kepadatan stroma akan terus menurun disebabkan penambahan usia, manipulasi tindakan bedah refraksi yang melibatkan kornea atau trauma, dan biasanya penyembuhan akan meninggalkan sikatrik (AAO *External Disease and Cornea*, 2019-2020).



Gambar 2.2 Sel Stroma (keratosit) : A. Fibroblast berbentuk pipih; B. Susunan antara lamella kolagen stroma

Stroma kornea terdiri dari matriks ekstraseluler yang berasal dari kolagen dan proteoglikan. Kolagen fibril tipe I dan tipe IV saling berkaitan oleh kolagen filamen tipe IV. Proteoglikan mayor kornea sentral disebut *decorin* (berhubungan dengan dermatan sulfat) dan *lumican* (berhubungan dengan keratin sulfat). Konsentrasi dan rasio proteoglikan dari anterior hingga posterior sangat bervariasi. Stroma posterior lebih “*wetter*” daripada anterior (berat kering 3,85 mg *versus* 3,04 mg), mengandung *protein water soluble*, analog dengan kristalin lensa, disekresikan oleh keratosit, dan mengandung sel-sel epitel untuk mempertahankan properti optikal kornea. Lamela anterior stroma pendek, lembar pembatasnya meluas terjalin antara lapisan, di mana stroma posterior lebih panjang, tebal, meluas dari limbus ke limbus dengan ikatan interlamelar longgar. Kornea manusia mempunyai sedikit elastisitas dan bisa meregang hanya 0,25%

pada tekanan intra okuli normal (AAO External Disease and Cornea, 2019-2020).

Rangkaian *lattice* fibril kolagen menempel pada matriks ekstraseluler juga bertanggung jawab untuk transparansi kornea. Pola ini berperan sebagai difraksi untuk mengurangi *scattering light*. *Scattering* lebih berat pada bagian anterior, menghasilkan indeks refraksi tinggi yaitu 1,401 D di epitelium menjadi 1,380 D di stroma, dan 1,373 D pada bagian posterior. Kornea bersifat transparan dikarenakan elemen *lattice* lebih kecil dari panjang gelombang cahaya yang visible (AAO External Disease and Cornea, 2019-2020).

Transparansi juga tergantung kadar air di dalam stroma kornea sekitar 78%. Hidrasi kornea dipengaruhi oleh lapisan epitel intak, barrier endotel, dan fungsi pompa endotel, berhubungan dengan sistem transpor ion, dikendalikan oleh enzim tergantung suhu seperti Na^+ , K^+ ATPase. Sebaliknya, stromal glikosaminoglikan cenderung bergerak ke luar, menyebabkan *Swelling Pressure* (SP). Tekanan intra okuli (*intra-ocular pressure* atau IOP) menekan kornea, secara keseluruhan tekanan imbibisi stromal kornea ditetapkan sebagai IOP-SP. Daya osmotik transedotelial dihitung dengan menambahkan tekanan imbibisi dan gradien elektrolit oleh kanal transport epitelial. Hidrasi kornea bervariasi dari anterior keposterior, konsentrasi lebih *wetter* pada bagian yang mendekati endothelium (AAO External Disease and Cornea, 2019-2020; AAO Fundamental and Principle of Ophthalmology, 2019-2020).

4. Membran Descemet

Lapisan desemet adalah membran basement dari endotel kornea. Ketebalannya meningkat dari sejak lahir $3\mu\text{m}$ hingga dewasa $10\text{-}12\mu\text{m}$, sebagai hasil dari pemecahan endotel di bagian posteriornya. Lapisan ini merupakan lapisan homogen yang paling kuat, sangat resisten terhadap agen kimia, trauma, dan proses patologis. Terdiri dari kolagen dan proteoglikan tetapi membran ini tidak bisa mengalami regenerasi (AAO *External Disease and Cornea*, 2019-2020).

5. Endotelium

Lapisan endotel tersusun oleh ikatan sel-sel yang membentuk pola mosaik dan sebagian besar berbentuk heksagonal. Sel endotel manusia tidak berproliferasi secara *in vivo*, tetapi sel dapat membelah untuk mempertahankan jumlahnya. Meskipun beberapa bukti menunjukkan bahwa stem sel endotel kornea perifer, kepadatannya terus menurun sesuai usia. Sel yang berkurang

menyebabkan sel lain mengalami pembesaran dan menggantikan posisi sel sekitarnya untuk menutup area defek, terutama yang disebabkan trauma dan operasi (AAO *External Disease and Cornea*, 2019-2020).

Konsentrasi normal kepadatan sel endotel antara 2000-3000 sel/mm². Endotel kornea mempertahankan kejernihan kornea melalui 2 fungsi: berperan sebagai barier akuos humor dan mempertahankan pompa metabolik. Peningkatan permeabilitas dan insufisiensi pompa terjadi jika kepadatan sel endotel berkurang, secara klinis kepadatan sel endotel tidak absolut menyebabkan edema kornea. Perubahan endotel yang bersifat reversibel contohnya pseudogutata, dan permanen contohnya korneal gutata (AAO *External Disease and Cornea*, 2019-2020; AAO *Fundamental and Principle of Ophthalmology*, 2019-2020).

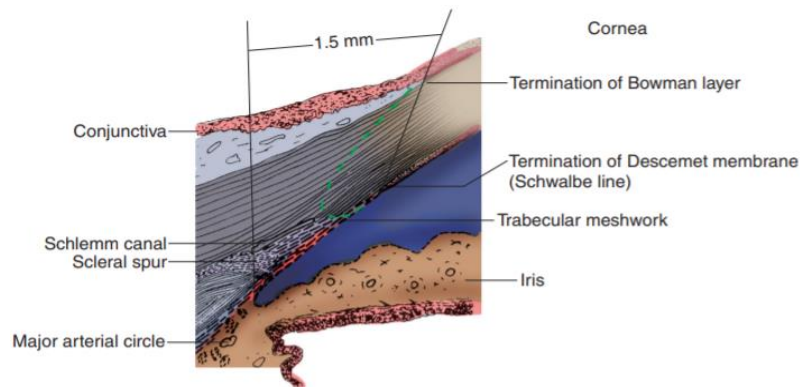
2.2 Limbus

Zona transisi antara kornea perifer dan sklera anterior, yang dikenal sebagai limbus (juga disebut persimpangan korneoskleral atau limbus kornea), didefinisikan secara berbeda oleh ahli anatomi, ahli patologi, dan dokter. Meskipun bukan merupakan struktur anatomi yang berbeda, limbus penting karena 3 alasan: hubungannya dengan sudut bilik anterior, penggunaannya sebagai penanda bedah, dan suplai sel puncak kornea (AAO *Fundamental and Principle of Ophthalmology*, 2019-2020).

Struktur berikut ditemukan di limbus antara lain : konjungtiva dan palisade limbal Vogt (yang menampung sel induk kornea); episklera; perbatasan stroma korneoskleral; aparatus aliran humor aquos (saluran kolektor), sambungan korneoskleral dimulai secara sentral di bidang yang menghubungkan ujung dari lapisan Bowman dan *Schwalbe line*, yang merupakan penghentian membran Descemet. Secara internal, batas posteriornya adalah ujung anterior dari scleral spur (Gambar 2.3).

Para ahli patologi menganggap batas posterior limbus dengan permukaan mata dengan luas sekitar 1,5 mm. Batas-batasnya adalah pada bagian sklera posterior adalah tempat *scleral spur* dan batas anterior pada sklera adalah garis tegak lurus yang ditarik dari *scleral spur* tersebut sedangkan batas limbus dari arah kornea anterior adalah terminasi dari lapisan membran bowman dan batas pada kornea posterior adalah terminasi dari lapisan descemet. Secara klinis, bagian yang disebut sebagai limbus ini berwarna kebiru-biruan, sehingga dengan

mudah dibedakan dari jaringan sklera di sekitarnya dan disebut juga sebagai *blue line* atau *blue zone*, sehingga batas berwarna ini digunakan untuk sayatan /insisi operasi katarak ataupun operasi glaukoma. Penampilannya yang berwarna biru ke abu-abuan disebabkan oleh pancaran cahaya melalui antara antara kornea dan sklera melalui media biomikroskopik, sepanjang 1–2 mm (lihat Gambar 4) (AAO *External Disease and Cornea*, 2019-2020; AAO *Fundamental and Principle of Ophthalmology*, 2019-2020).



Gambar 2.3. Batas-batas limbus pada kornea. Limbus memisahkan konjungtiva dengan kornea (AAO *Fundamental and Principle of Ophthalmology*, 2019-2020).

Limbus memiliki zona transisi antara kornea yang jernih/transparan dan sklera buram/gelap. Daerah ini menampung sel induk epitel kornea, yang bertanggung jawab sebagai homeostasis dan perbaikan luka pada epitel kornea. *Palisade Vogt* yang terletak di limbus superior dan inferior berfungsi sebagai lokasi sel induk limbal dan dapat diamati secara biomikroskopi sebagai fibrovaskular yang bertumpuk berorientasi radial yang terkonsentrasi di sepanjang limbus korneoskleral (Gambar 2.4). Limbus posterior bertanggung jawab untuk pemeliharaan sel induk sedangkan fungsi dari limbus anterior untuk mempercepat regenerasi epitel kornea.



Gambar 2.4. Gambaran dari slitlamp menunjukkan limbus korneoskleral (*blue line/blue zone*) dengan fibrovaskular (palisades dari Vogt). (AAO *Fundamental and Principle of Ophthalmology*, 2019-2020).

2.3 Topografi Kornea

2.3.1 Definisi

Topografi merupakan suatu ilmu yang menggambarkan atau menjelaskan bentuk permukaan dari suatu benda. Teknik yang biasa digunakan untuk menilai permukaan kornea membutuhkan refleksi target (permukaan kornea) melalui prinsip cermin cembung (Rubinowitz, 2003).

Analisis dan deskripsi dari topografi kornea mendapatkan perhatian khusus setelah berkembangnya teknik pembedahan kornea. Dengan berkembangnya teknologi komputer dan teknologi perangkat lunak, analisis radius kurvatura dapat ditampilkan dalam bentuk kekuatan refraksi (dioptri) pada ribuan lokasi permukaan kornea. Topografi kornea secara computerized merupakan pengembangan dari prinsip keratometri dan fotokeratoskopi yang telah berkembang selama lebih dari seratus tahun (Bogan, 1990; Rubinowitz, 2003).

2.3.2 Sejarah

Topografi kornea dengan komputerisasi merupakan salah satu alat diagnostik yang penting dalam mempelajari kornea, terutama yang berhubungan dengan bedah refraktif. Cara pertama dalam menentukan bentuk dari permukaan kornea ialah dengan menggunakan cincin konsentrik berwarna hitam dan putih yang dikembangkan pada tahun 1880 oleh A. Placido. Apabila bentuk kornea sferik maka bentuk cincin tampak sirkular dan konsentrik. Perubahan

konsentrisitas cincin menunjukkan adanya distorsi dari bentuk kornea. Fotokeratoskop kemudian diperkenalkan sebagai alat yang mencatat refleksi bayangan cincin Placido pada permukaan kornea, namun cara ini hanya memberikan informasi secara kualitatif mengenai kelengkungan kornea (Bogan,1990).

Pada tahun 1980-an, teknologi komputer digunakan untuk mendapatkan pemeriksaan topografi kornea otomatis dengan resolusi tinggi, yang dikenal sebagai videokeratoskop, misalnya Topography Modeling System (TMS-1) dan Corneal Analysis System (CAS). Perintis dalam bidang ini ialah Stephen Klyce, yang merubah nilai-nilai nominal dari hasil komputerisasi ke dalam warna-warna tertentu sesuai dengan perbedaan kurvatura kornea yang diukur dengan teknik keratometri. Alat-alat ini digunakan untuk mengatasi kekurangan fotokeratoskop, baik dari segi kecepatan maupun pengumpulan informasi kuantitatif mengenai permukaan anterior kornea. Sebagian besar sistem menggunakan cincin Placido dengan nosecones atau bentuk kerucut 16 lingkaran, yang dapat meliputi 11 mm permukaan kornea. Bentuk ini menghasilkan resolusi radial yang tinggi, merefleksikan permukaan kornea dengan perbedaan sebesar 0,17 mm (Rubinowitz, 2003 ; Boyd, 2000).

2.3.3 Zona Topografi Kornea

Topografi kornea dibagi menjadi empat zona geografis dari puncak hingga limbus, yang dapat dengan mudah dibedakan dalam videokeratoskopi kornea berwarna yaitu :

1. Zona Sentral

Zona sentral yang biasa juga disebut zona apical, cap cornea, zona optic, atau zona sferikal sentral. Didefinisikan sebagai daerah di sekitar apeks kornea yang tidak bervariasi dalam kelengkungan lebih dari 1 dioptri. Berbagai peneliti telah mendefinisikan zona ini secara berbeda-beda. Mandell dkk, mendefinisikan zona apikal sebagai daerah dimana refraksi pusatnya berbeda kurang dari 0,25 dioptri. Peneliti lainnya mendefinisikan sebagai daerah di sekitar puncak di mana jari-jari kelengkungan berbeda kurang dari 0,05 mm (Schanzlin,1992; Fan, 2018). Disimpulkan bahwa zona apikal tidak memiliki batas yang jelas dan ukurannya bervariasi sehingga zona apikal sebagai wilayah pusat kornea yang memiliki

variabilitas perubahan paling kecil dalam kekuatan dioptri (Schanzlin, 1992; Fan, 2018; Levine, 2016).

2. Zona Parasentral

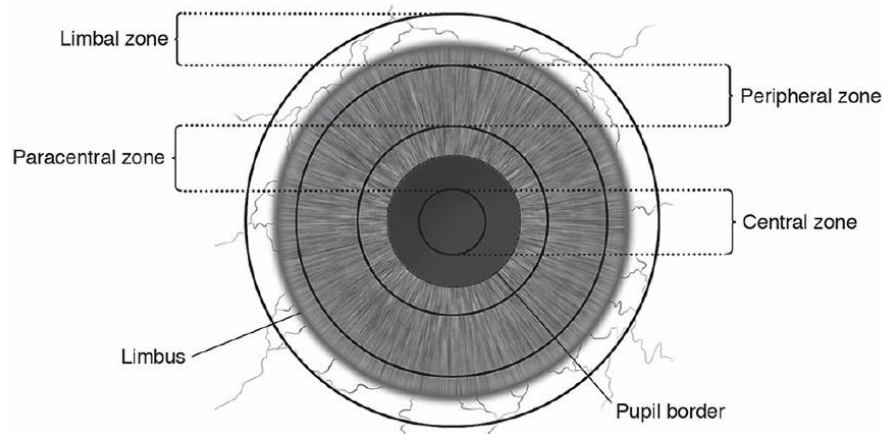
Zona parasentral merupakan area pendataran dari kornea terletak 7-8 mm di bagian luar. Zona sentral dan parasentral bertanggung jawab pada kekuatan refraktif kornea (Levine, 2016).

3. Zona Perifer

Zona perifer (kadang-kadang disebut sebagai daerah perantara) didefinisikan sebagai daerah dari batas tepi zona apikal ke batas tengah limbus. Secara topografis, kecenderungan umum untuk wilayah ini menunjukkan perataan progresif yang menghasilkan permukaan asferis. Zona perifer ini sangat penting saat memasang lensa kontak sebagai penopang kontak lensa tersebut dan berperan penting dalam operasi refraksi (Schanzlin, 1992; Fan, 2018). Zona perifer dengan diameter terluar sekitar 11 mm, dikenal sebagai zona transisional, karena merupakan area pendataran terbesar zona dari kornea (Levine, 2016).

4. Zona Limbal

Zona limbal didefinisikan sebagai persimpangan antara kornea dan sklera. Zona limbal terletak 0,5 – 1 mm ke sklera dan merupakan area curam kornea sebelum bertemu sklera pada sulkus limbal (Schanzlin, 1992; Fan, 2018; Levine, 2016). Karena kornea memiliki jari-jari kelengkungan yang lebih curam daripada bagian *globe* lainnya, terdapat sulkus yang tampak pada titik ini yang menentukan akhir kornea dan awal sklera. Zona ini penting karena terlibat dalam banyak gangguan penipisan kornea perifer, serta menjadi tempat berbagai prosedur pembedahan. Prosedur pembedahan atau proses penyakit yang melibatkan daerah ini dapat langsung mengubah bentuknya, dan dengan demikian secara tidak langsung mengubah topografi kornea sentral dan dengan demikian mempengaruhi ketajaman visual (Levine, 2016).



Gambar 2.5. Zona topografi kornea (Levine, 2016).

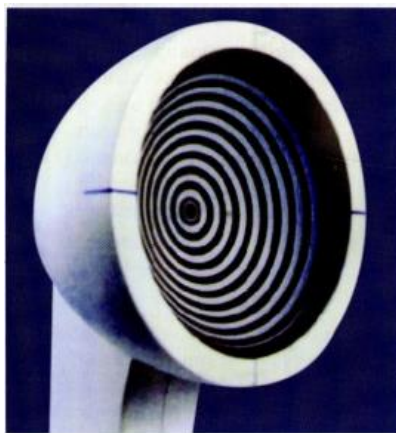
2.4 Videokeratoskopi Terkomputerisasi: Topografer Kornea Modern Topografi

Topografi kornea atau *computerized videokeratography* (CVK) adalah teknik pencitraan medis non-invasif untuk mengukur ketebalan, kontur dan bentuk kornea secara akurat. Kornea adalah jendela transparan berbentuk kubah di bagian depan mata. CVK menggunakan perangkat Pentacam menggunakan kamera yang berputar untuk mengambil gambar 360 derajat penuh dari bagian depan mata. CVK digunakan untuk mendiagnosis dan memantau perkembangan kondisi kornea seperti Keratoconus dan untuk mengukur bentuk kornea secara akurat sebelum dan setelah operasi refraksi dan transplantasi kornea. Ini juga digunakan untuk meningkatkan keakuratan perhitungan lensa intraokular sebelum operasi katarak (terutama bila telah ada operasi refraksi sebelumnya) dan untuk menyelidiki gejala visual yang tidak dapat dijelaskan (Schanzlin, 1992; Agarwal, 2010).

Pada dasarnya, proyeksi topografer kornea terdiri dari cakram atau kerucut Placido (besar atau kecil) yang menerangi kornea dengan mengirimkan gelombang cincin konsentris, kamera video yang menangkap refleksi kornea dari lapisan air mata dan komputer serta perangkat lunak yang melakukan analisis data melalui algoritma komputer yang berbeda. Komputer mengevaluasi jarak antara rangkaian cincin konsentris terang dan gelap dalam sejumlah titik yang bervariasi. Semakin pendek jaraknya, semakin tinggi kekuatan kornea, dan

berbanding terbalik. Hasil akhir bisa di print berwarna atau hitam putih (Schanzlin, 1992; Agarwal, 2010).

Cincin Placido terdiri dari lingkaran konsentrik gelap dan terang dalam bentuk dikus ataupun kerucut (cone), dengan ukuran yang berbeda tergantung jumlah ingkaran yang digunakan. Semakin besar jumlah lingkaran semakin baik, karena semakin besar area kornea yang dapat terukur. Namun, sebagian besar sistem tidak mengikutsertakan daerah paralimbus kornea (Boyd, 2000).



Gambar 2.6. Bentuk Kerucut pada Videokeratoskop terdiri dari serangkaian cincin yang gelap dan terang dengan ukuran berbeda tergantung jumlah cincin dan merk pabrikan tertentu (Fan, 2018).

Videokeratoskop dengan metode komputerisasi menggambarkan permukaan ion melalui proses digital dan mendapatkan hasil akhir berupa peta kornea yang berwarna. Peta ini kemudian menjadi standar dalam praktek sehari-hari karena sangat mudah digunakan (Boyd, 2000; Rubinowitz, 2003).

2.3.5 Peta/Mapping

Peta kornea menunjukkan gambaran dari data yang ada. Peta yang baik ialah peta yang menggambarkan permukaan kornea dengan lapisan air mata seperti tampak pada gambar 2.8. Skala peta kornea terdiri dari skala absolut, normal, isometrik, numerik 16 atau 32 meridian, yang selalu tampak pada bagian kanan bawah pada setiap tampilan. Informasi mengenai kornea akantampak pada setiap tampilan. Data yang dimaksudkan antara lain mengenai *Surface*

Asymmetry Index (SAI) dimana nilai SAI menunjukkan distribusi kekuatan kornea, yang pada keadaan normal permukaan kornea adalah simetris dengan nilai SAI kurang dari 0,5 di mana daerah dengan kornea asimetrik dapat mencapai nilai 5,0 (misalnya pada keratokonus) (Corbert,1994).

Surface Regularity Index (SRI) merupakan deskriptor kuantitatif yang menghubungkan kualitas dari permukaan optikal kornea dengan tajam penglihatan potensial. Nilai SRI didapatkan dari regularitas lokal permukaan kornea dengan ukuran pupil kurang lebih 4,5 mm. Seperti SAI, nilai SRI yang normal ialah rendah, sehingga bila terdapat nilai SRI yang tinggi mengindikasikan kualitas permukaan kornea yang buruk. *Potensial Visual Acuity (PVA)* merupakan tajam penglihatan terbaik berdasarkan hasil topografi kornea itu, dengan memperhitungkan nilai SRI dan hubungannya dengan PVA (Corbert,1994).

Simulated keratoscope reading (SimK) merupakan nilai penjumlahan dari kekuatan meridional maksimum yang diperoleh pada cincin 6, 7, dan 8. Rata-rata dari nilai ini menunjukkan kekuatan maksimum, nilai aksis dan kekuatan permukaan kornea untuk cincin yang sama pada meridian 90 derajat. Bila nilai silindris yang didapatkan kurang dari 0,20 dioptri di mana nilai ini tidak bermakna maka kekuatan silindris dari kornea tidak dilaporkan (Corbert,1994).

Minimum keratoscope reading (Min K) merupakan penjumlahan dari kekuatan meridional minimum yang diperoleh pada cincin 6,7, dan 8. Nilai ini menunjukkan kekuatan minimal dan aksis yang mungkin timbul pada permukaan kornea (Corbert, 1994).

Peta kornea dibedakan atas 4 jenis peta sebagai berikut :

1. Peta dengan skala absolut

Peta dengan menggunakan skala absolut menggunakan sistem penandaan warna yang dikembangkan oleh Stephen Klyce. Cara ini menggunakan warna yang sama untuk setiap nilai dioptri yang sama pada semua mata. Warna yang digunakan berkisar 20 warna dengan kekuatan berkisar antara 9-100 dioptri. Rentang pertengahan terdiri dari 1 tingkatan dengan kekuatan 1,5 dioptri dengan nilai rata-rata normal 43 dioptri yang menunjukkan warna hijau muda. Nilai di atas dan di bawah

rentang ini, digunakan perbedaan tingkatan 5 warna dioptri. Nilai di bawah rentang normal menunjukkan warna lebih tua atau biru dan di atas rentang normal menunjukkan warna yang lebih terang seperti merah (Corbert,1994).

2. Peta Isometrik

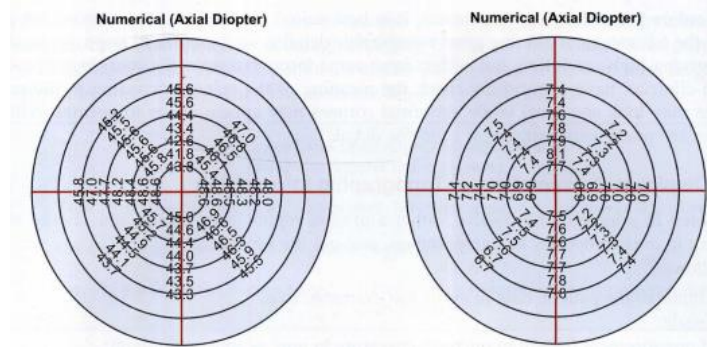
Tampilannya berupa gambaran keratoskop berwarna, dengan garis-garis dari 0 derajat sampai 30 derajat dan digambarkan secara dua dimensi dan tiga dimensi. Garis yang lurus mengindikasikan permukaan kurvatura yang konstan dan warna menunjukkan radius dari kurvatura dengan menggunakan skala absolute (Corbert,1994).

3. Peta dengan skala normal

Skala warna secara otomatis disesuaikan dengan rentang dari nilai dioptri untuk mata yang diperiksa Pada tampilan normal. Hal ini menyebabkan kurvatura kornea tampak dengan detail yang lebih baik, karena tidak ada warna yang muncul untuk kekuatan kornea yang tidak ada pada permukaan kornea. Tampilan normal ini memberikan penilaian yang cepat mengenai bentuk, dengan warna hangat/merah untuk permukaan yang curam (*steep*) dan warna dingin biru untuk permukaan yang datar (*flat*). Tampilan ini dibagi dalam sebelas tingkatan yang serupa, sehingga bila rentang total besar, maka nilai setiap tingkatan juga akan besar, sementara bila rentang total kecil, maka tingkatan tiap warna juga akan kecil. Nilai minimum dari tiap tingkatan terbatas hingga kekuatan 0,4 dioptri (Corbert,1994).

4. Peta Numerik (16 atau 32 meridian)

Tampilan numerik ini digunakan untuk menghasilkan peta dengan nilai numerik yang berwarna (dalam milimeter atau dioptri) pada 16 atau 32 meridian. Dengan menggunakan peta ini, kita tidak usah melihat ke skala yang digunakan, karena nilai kekuatan dioptri tertera pada peta kornea. Nilai ini mungkin tidak dapat terlihat bila cetakan dalam bentuk kecil, sehingga sebaiknya diperhatikan bentuk ukuran yang dipilih (Corbert,1994).



Gambar 2.7. Tampilan numerik yang menunjukkan sejumlah kekuatan kornea di beberapa meridian dalam tampilan radial (Fan,2018)

5. Interpretasi Peta/Maps Berwarna

Kamera video akan mengambil gambar yang direfleksikan oleh kornea. Gambar ini akan ditransmisikan ke dalam monitor video. Bila bayangan gambar yang diperoleh memuaskan, pemeriksa dapat menghentikan gambar yang tampak pada monitor. Kemudian, dengan menggunakan sistem digital, angka yang terbaca pada permukaan kornea dirubah ke dalam bentuk ukuran kelengkungan kurvatura kornea (Boyd B, 2000; Rubinowitz, 2003).

Komputer memberikan warna yang berbeda berdasarkan ukuran kelengkungan kurvatura kornea yang didapatkan, dimana merah untuk permukaan yang curam steep) dan biru untuk permukaan yang datar (flat). Atau dikenal juga dengan warna panas untuk merah, coklat dan warna dingin untuk biru, hijau. Warna yang diberikan untuk setiap daerah tertera dalam bentuk tabel vertikal yang selalu ada disamping peta kornea (Boyd B,2000; Rubinowitz, 2003).

Warna yang tertangkap pada layar video terdiri dari dua skala, yaitu skala warna relatif dan skala warna absolut. Skala warna relatif memberikan gambaran yang meluas atau menyempit tergantung dari rentang kurvatura kornea yang diukur. Sebagai contoh, bila zona yang paling datar berkekuatan 37 dioptri dan zona yang paling curam berkekuatan 45 dioptri, maka gambaran warna yang terbentuk ialah biru muda untuk 37 dioptri dan merah tua untuk 45 dioptri. Warna-warna diantara kedua warna tersebut mempunyai kekuatan antara kedua parameter tersebut. Sedangkan skala warna absolut akan memberikan warna yang sama untuk ukuran kurvatura yang sama pada setiap peta kornea. Hal ini dapat

mengurangi kebingungan pemeriksa dalam membaca peta kornea dan sangat berguna untuk mengenali kornea patologis. Warna yang paling merah menunjukkan kurvatura yang tercuram dan warna paling biru menunjukkan kurvatura yang paling datar, dengan warna hijau dan kuning diantaranya. Pada saat menggunakan skala warna absolut, setiap warna menunjukkan perubahan sebanyak 1 dioptri. Idealnya, kurvatura di daerah pupil memiliki kekuatan yang relatif sama (Bogan,1990; Boyd, 2000).

6. Kegunaan Klinis

Kegunaan dari topografi kornea secara garis besar ialah untuk mendeteksi kelainan asimetri dan iregularitas permukaan kornea, deteksi dini keadaan keratokonus, serta tujuan refraksi yaitu mengetahui keadaan kornea pada pemakai kacamata yang tidak dapat mencapai tajam penglihatan 20/20 (dengan koreksi). Sebelum mengenal bentuk topografi kornea abnormal, maka bentuk dari kornea yang normal harus dikuasai terlebih dahulu. Kornea normal memiliki bentuk yang asferis, curam di daerah sentral dan mendatar ke arah perifer (Corbet, 1994; Rubinowitz, 2003).

Derajat pendataran berkisar antara 1-4 dioptri. Terdapat variasi yang bermakna pada bentuk videokeratografi mata normal, berkisar antara 5 – 10 dioptri bentuk berbeda, tergantung dari jenis skala yang digunakan. Untuk mendapatkan gambaran normal, sebaiknya digunakan skala absolut, dimana pada skala ini warna merah (kekuatan kornea 49 - 50,5 dioptri) hampir tidak pernah tampak pada kornea normal. Walaupun terdapat perbedaan bentuk kornea secara individual, permukaan kornea pada mata sebelahnya memiliki bentuk yang hampir sama, seperti bentuk cermin (Corbet, 1994; Rubinowitz, 2003). Dengan menggunakan skala normal, didapatkan lima karakteristik gambaran kornea normal, yaitu bulat (round), lonjong (oval), bow tie simetris, bow tie asimetris dan irregular (Dingeldein,1989; Bogan, 1990).

2.4 Teknik Fakoemulsifikasi

2.4.1 Fakoemulsifikasi

Fakoemulsifikasi berasal dari dua kata yaitu *phako* yang artinya lensa dan *emulsification* yang berarti menghancurkan menjadi bentuk yang lebih lunak. Cara kerja sistem fakoemulsifikasi adalah melalui ultrasonic probe yang mempunyai tip jarum (*needle*) yang mampu bergetar dengan frekuensi yang sangat tinggi, yaitu setara dengan frekuensi gelombang ultrasound. Energi ultrasound berasal dari energi listrik yang dirubah dan dihantarkan ke probe (*handle*) dimana pada *handle* terdapat *piezzo (quartz) electric crystals* yang menghasilkan getaran dengan frekuensi yang sangat tinggi, yaitu antara 28,000-60.000 Hz. Getaran dari kristal kemudian diteruskan ke bagian yang disebut HORN yang berfungsi untuk memperbesar (*amplified*) getaran kristal yang sangat halus tersebut sehingga dapat diteruskan ke jarum (*tip/needle*) fakoemulsifikasi yang terletak pada ujung distal (Soekardi, 2004).

Fakoemulsifikasi memberikan insiden yang lebih rendah akan terjadinya komplikasi yang berhubungan dengan penyembuhan luka, proses penyembuhan yang lebih cepat, dan rehabilitasi visual yang lebih cepat dibanding prosedur lain yang membutuhkan luka insisi dengan ukuran yang lebih besar. Teknik ini juga menciptakan sebuah sistem tertutup baik pada saat prosedur fakoemulsifikasi maupun aspirasi, sehingga memungkinkan kontrol terhadap kedalaman bilik mata depan dan memberikan keamanan yang lebih terhadap tekanan positif dari *corpus vitreous* serta kejadian *choroidal hemorrhage* (Cantor, 2016).

Edema kornea merupakan komplikasi pasca operasi yang paling sering terjadi. Komplikasi ini dapat terjadi mulai dari yang paling ringan hingga berat dimana pada umumnya bersifat reversibel, kecuali pada keadaan yang berat. Meskipun tidak ada gelombang ultrasound yang keluar dari ujung tip fakoemulsifikasi namun energi kavitas yang ditimbulkan saat tip bergetar dengan frekuensi ultrasonik menimbulkan energi panas. Edema akan lebih berat jika tip fakoemulsifikasi sangat berdekatan dengan endotel. Selain itu peranan cairan irigasi juga berpengaruh, dimana penggunaan *Ringer Lactate* lebih mudah menimbulkan edema bila dibandingkan dengan penggunaan BSS (*Balanced Salt Solution*) yang dirancang khusus untuk mata (Soekardi, 2004).

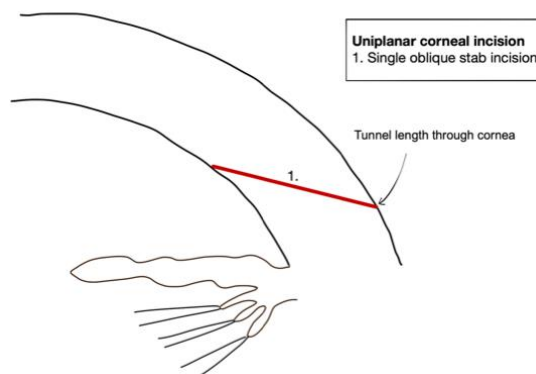
Pada tahun 1980, Mazocco mengembangkan dan mengimplantasikan lensa intraokuler *foldable* pertama yang terbuat dari bahan silikon, desain lain kemudian bermunculan dengan material lensa intraokuler terbuat dari silikon dan akrilik. Perkembangan lensa intraokuler *foldable* yang dapat dimasukkan melalui luka insisi kurang dari 4 mm memungkinkan operator fakoemulsifikasi mempertahankan ukuran luka insisi kecil. Semakin banyak operator memilih transisi ke teknik operasi fakoemulsifikasi dengan luka insisi kecil, dan prosedur fakoemulsifikasi katarak disertai insersi lensa intraokuler *foldable* saat ini telah menjadi teknik yang banyak dipilih diseluruh dunia (Cantor, 2016).

2.4.2 Teknik Sayatan/Insisi pada Fakoemulsifikasi

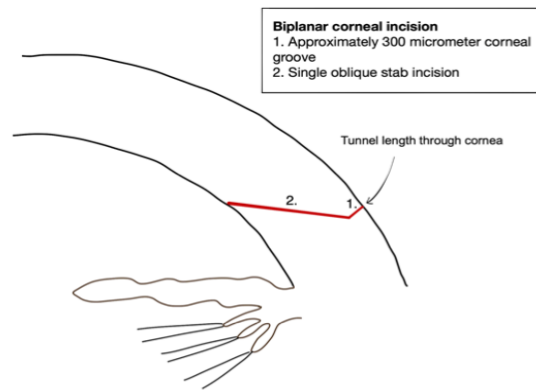
1. Insisi Kornea

Insisi ini disebut dengan istilah *clear cornea incision* dikarenakan insisi dibuat pada bagian kornea sebelah sentral dari limbus yaitu bagian kornea yang sudah bebas dari pembuluh darah arcade limbus sehingga insisi ini sama sekali tidak menyebabkan perdarahan. CCI merupakan metode ataupun teknik yang lebih diminati dan menjadi banyak pilihan pada operator bedah katarak (Soekardi, 2004).

Tiga jenis insisi kornea yang digunakan dalam fakoemulsifikasi dengan sudut tertentu agar luka insisi tetap bersifat kedap yaitu insisi kornea yang langsung menembus kearah bilik mata depan (*single plane incision*; gambar 2.8), arsitektur luka berbentuk 2 sudut (*two plane incision*; gambar 2.9); dan arsitektur luka berbentuk 3 sudut (*three plane incision*; gambar 2.10) (Soekardi, 2004).

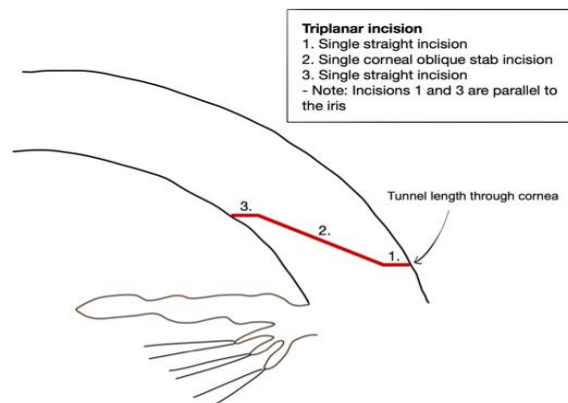


Gambar 2.8. Insisi kornea uniplanar (1-plane) (Kuriakose, 2020).



Gambar 2.9. Insisi kornea biplanar (2-plane) (Kuriakose, 2020).

Kekurangan insisi *clear* kornea ini adalah kurang tahan terhadap panas energi ultrasound, penyembuhan luka yang lebih lambat dibandingkan daerah limbus ataupun sklera (karena kornea yang avascular), serta astigmatisme pasca operasi yang lebih tinggi. tetapi efek negative tersebut dapat diminimalisasi dengan memperhatikan kriteria pemilihan pasien yang selektif dan harus kooperatif sehingga sesuai dengan untuk insisi kornea dengan anestesi topical (Soekardi, 2004).



Gambar 2.10. Insisi kornea triplanar (3-plane) (Kuriakose, 2020).

Pendekatan temporal pada insisi kornea lebih disukai karena memiliki ruang gerak yang lebih bebas dibandingkan jika melakukan insisi dari arah superior (Soekardi, 2004). Fine dkk menganjurkan letak insisi kornea di bagian limbus temporal karena diameter kornea horizontal lebih panjang dibandingkan diameter vertikal kornea sehingga limbus temporal letaknya lebih jauh dari aksis

visual dibandingkan dari arah superior (Fine, 2007). Pendataran (*flattening*) akan lebih kecil pengaruhnya terhadap induksi astigmatisme yang terjadi pada aksis visual. Keuntungan lainnya seperti yang telah dikemukakan sebelumnya insisi temporal memberi ruang gerak operasi yang lebih luas tanpa ada halangan dari palpebral. Dianjurkan saat melakukan insisi kornea maksimal lebar insisi 3,5 mm terutama saat implantasi IOL foldable (Soekardi, 2004).

2. Gambaran arsitektur luka insisi clear kornea menggunakan Optical Coherence Tomography (OCT) segmen anterior.

Lebar dan arsitektur luka pada operasi fekoemulsifikasi sangat penting diperhatikan karena akan menentukan:

- a. Terdapatnya sistem tertutup pada saat melakukan fakoemulsifikasi
- b. Besarnya induksi astigmatisme pasca operasi

Lebar insisi harus sesuai diameter tip fakoemulsifikasi yang digunakan yaitu dengan merujuk pada lebar luka yang dianjurkan oleh pabrik mesin fakoemulsifikasi. Ukuran luka yang terlalu sempit akan menyebabkan gerakan tip saat fako menjadi sulit disamping menghambat aliran cairan, keadaan ini akan menyebabkan luka bakar pada pinggiran insisi akibat panas yang ditimbulkan. Insisi yang terlalu longgar juga tidak baik karena menyebabkan kebocoran sehingga cairan keluar dari bilik mata depan, sehingga dapat menyebabkan turbulensi cairan dalam bilik mata meningkat yang mengakibatkan trauma pada endotel dan permukaan iris. Ukuran lebar insisi umum diantaranya 2,5-3,0 mm bergantung jenis tip fakoemulsifikasi yang digunakan. Arsitektur insisi yang baik adalah mengupayakan bentuk insisi yang kedap (tidak bocor) sehingga bilik mata depan tetap stabil intra-operasi dan luka dapat menutup dengan sendirinya saat penyembuhan (*self sealing*) sehingga tidak memerlukan jahitan serta tidak menimbulkan atau menginduksi astigmatisme pasca operasi (*induced astigmatism*) (Soekardi, 2004).

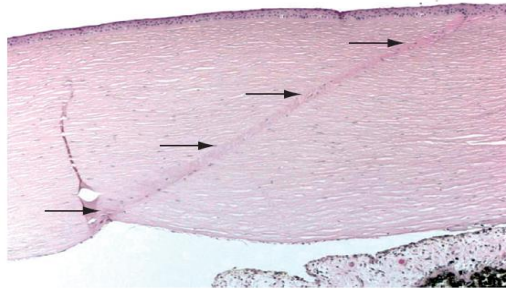
Pengenalan OCT segmen anterior memungkinkan perekaman gambar dengan resolusi tinggi dengan cepat dan mudah dengan cara non kontak dan non invasive. Pemahaman perubahan morfologi di lokasi insisi akan membantu mencegah komplikasi pasca fakoemulsifikasi dan meningkatkan manajemen arsitektur luka insisi (Jin, 2019).

OCT segmen anterior telah digunakan untuk menilai bentuk sayatan/insisi dan peneliti lain melaporkan masalah insisi termasuk pelepasan (dehiscence) membran descemen; peningkatan ketebalan kornea; celah/gap endotel kornea (Calladine and Packard, 2007). Peneliti lain berasumsi bahwa hidrasi kornea selama fakoemulsifikasi akan menyebabkan pembengkakan luka, sedangkan Xia dkk menapik degan menyatakan bahwa pembengkakan kornea disebabkan terutama kerusakan jaringan di lokasi insisi fakoemulsifikasi termasuk mekanisme trauma yang disebabkan penyisipan instrument, trauma panas akibat ultrasound (trauma termal) fakoemulsifikasi (Xia *et al.*, 2009).

Sependapat dengan pernyataan di atas, pembengkakan kornea disebabkan oleh hidrasi stroma dan kerusakan mekanis. Celah/gap endotel adalah dehisensi luka internal dari insisi kornea yang memungkinkan masuknya organisme ke humour aqueous sehingga menyebabkan terjadinya endoftalmitis dan potensi kehilangan penglihatan/visual (Jin, 2019).

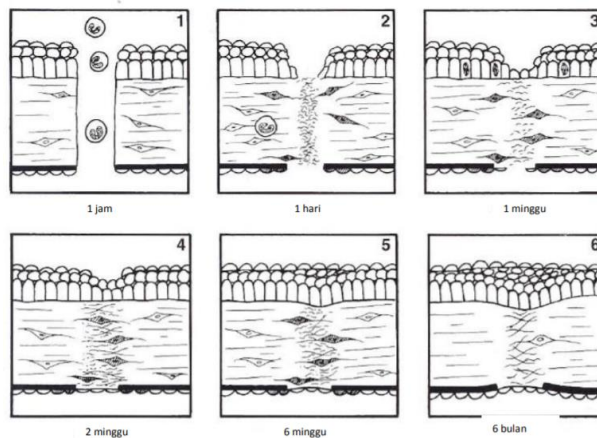
3. Proses Penyembuhan Luka (*Wound Healing*) Fakoemulsifikasi

Penyembuhan luka pasca bedah karatak bervariasi tergantung pada lokasi insisi korneal, limbal atau skleral, jenis flap konjungtiva limbal base atau fornix based serta pemakaian benang jenis yang diabsorpsi atau tidak diabsorpsi (Jaffe, 1990). Penyembuhan luka pada kornea bagian anterior/ superfisial Sama dengan mekanisme penyembuhan pada abrasi kornea, yaitu melalui mekanisme ephitelial slide dan multiplikasi mikotik. Proses ini dimulai kira-kira 1 jam setelah luka, sempurna dalam 2 hari. Penyembuhan luka kornea bagian posterior/profunda berjalan lebih lambat yaitu 7 -14 hari. Bila terdapat celah pada membrane descement, akan terjadi proses penyembuhan melalui fibroblast stroma. Penyembuhan stroma lebih kompleks, membutuhkan setidaknya 2 bulan untuk menyatukan sisi insisi secara permanen (Jaffe, 1990).



Gambar 2.11. Gambaran histologi pada luka kornea *full thickness* pasca operasi katarak. Tampak hiperselularitas minimal pada luka yang disebabkan oleh fibrosis dan tidak adanya pembuluh darah di dalam atau di sekitar luka (AAO Ophthalmic Pathology and Intraocular Tumors, 2019-2020).

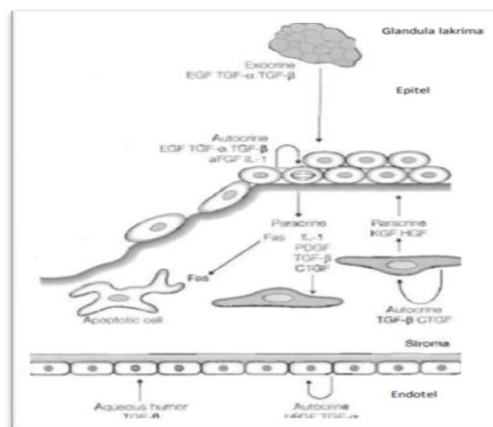
Mekanisme penyembuhan luka pada insisi limbal hampir sama dengan insisi kornea. Adanya flap konjungtiva menyebabkan hambatan pada pembentukan struktur jaringan yang sempurna. Penyembuhan luka insisi limbal anterior terjadi dalam 25 jam pasca bedah dengan timbulnya proliferasi fibrovaskularmeluas diantara sisi luka stroma. Penyembuhan limbal posterior mulai dari hari ke 8 -10 dengan adanya sel endotel yang menutupi lamella stroma pada tempat *membrane descement* yang hilang. Penyembuhan stroma dimulai dengan adanya pertumbuhan jaringan subkonjungtiva ke dalam luka hari ke-3. Selanjutnya, pertumbuhan jaringan subepitelial yang meluas ke seluruh ketebalan luka pada hari ke-15 (Jaffe, 1990). Proses perbaikan luka ini berjalan lebih lambat, setelah 2 bulan bagian sentral stroma akan paralel dengan lamella kornea, tetapi bagian anterior dan posteriornya masih lemah. Dibutuhkan lebih dari 2 bulan untuk memperbaiki luka (AAO Ophthalmic Pathology and Intraocular Tumors , 2019-2020).



Gambar 2.12. Proses penutupan luka setelah insisi kornea (AAO Ophthalmic Pathology and Intraocular Tumors, 2019-2020).

Proses penutupan luka setelah insisi kornea ditunjukkan pada gambar 9. lapisan air mata membawa neutrofil dan lisosim dalam waktu 1 jam. Segera setelah penutupan luka insisi, glikosaminoglikan fibroblas mulai diaktifkan dan di tepi luka dimana terlihat mulai merapat dan tampak edema dalam 1 hari. Dilanjutkan epitel migrasi, sebagian endotel mengisi luka, dan fibroblas mulai migrasi untuk menghasilkan kolagen dalam 1 minggu. Aktivitas kolagen, fibroblas dan deposit matriks terus berlangsung selama 2 minggu. Regenerasi epitel maksimal pada ke-6 minggu. Fibroblas mengisi kolagen pada bagian yang luka dan proses mulai melambat berakhir dengan hasil akhir filamen kolagen tidak sejajar dengan lamella sampai ke-6 bulan (AAO Ophthalmic Pathology and Intraocular Tumors, 2019-2020).

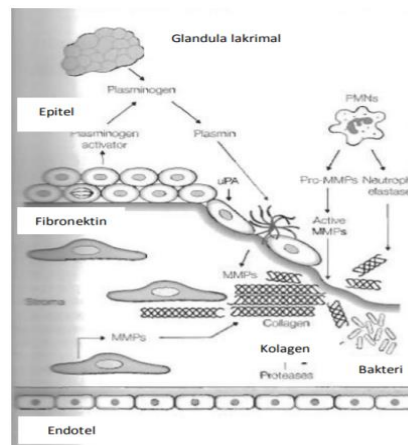
Sel epitel kornea mampu mensintesis serine protease, urokinase-plasminogen aktivator, yang dapat mengaktifkan plasminogen menjadi plasmin. Urokinase – plasminogen aktivator terdapat pada awal permulaan migrasi sel epitel basal kornea. Jumlah plasmin meningkat pada lapisan air mata pasien dengan defek epitel. Plasmin dapat menurunkan protein fibronektin dan laminin di matriks ekstra seluler (Tuli, 2005; Hamill, 2011).



Gambar 2.13. Faktor pertumbuhan dalam regulasi pemulihan kornea (AAO Ophthalmic Pathology and Intraocular Tumors, 2019-2020).

Epithelial growth factor (EGF) dan transforming growth factor alpha (TGF- α) merupakan faktor pertumbuhan (*growth factors*) yang terlibat dalam regulasi pemulihan kornea (gambar 2.13) yang disintesis oleh glandula lakrimal dan dibawa oleh lapisan air mata. Sel epitel kornea mensintesis mRNA untuk EGF dan TGF- α . Jumlah EGF di lapisan air mata berkurang pada pasien dengan

defek kornea kronik. TGF- α dan fibroblast growth factors (FGFs) merangsang mitosis dan migrasi sel epitel. EGF menstimulasi sintesis fibronektin dan kolagen. Fibronektin adalah protein yang berfungsi dalam penempelan sel epitel, disekresikan pada permukaan matriks ekstraseluler (Tuli, 2005; Kumar, 2013). Faktor pertumbuhan dan sitokin yang dihasilkan oleh glandula lakrimalis dan sel kornea yang berperan dalam *autocrine*, *paracrine*, dan *exocrine pathway* untuk mengatur proses penyembuhan kornea. Sel endotel mensintesis *basic fibroblast growth factor* (bFGF) pada gambar 2.14 (Tuli, 2005; Kumar, 2013).



Gambar 2.14. Protease dalam regulasi pemulihan luka kornea (AAO Ophthalmic Pathology and Intraocular Tumors, 2019-2020).

Respon stroma terhadap trauma diawali dengan edema stroma, apoptosis fibroblas dan invasi sel-sel peradangan. Edema stroma kornea dapat terjadi tanpa penetrasi langsung ke stroma. Penyembuhan kornea bagian sentral melibatkan neutrofil yang dibawa oleh lapisan air mata dan dari pinggir luka yang edema. Penyembuhan stroma kornea bersifat avaskuler dengan melibatkan perubahan bentuk keratosit, produksi materi fibrosis dan remodeling jaringan. Perubahan bentuk keratosit ini distimulasi oleh interleukin-1 dan TGF- β yang berasal dari sel epitel. Keratosit akan berubah bentuk menjadi fibroblas dan myofibroblas dan akan mensekresikan matriks ekstraseluler. Fibroblas dan myofibroblas bersama dengan deposit materi fibrosis (kolagen dan fibronektin) akan bermigrasi ke daerah yang mengalami trauma untuk menutup defek. Materi fibrosis dapat mengerut dan menyebabkan kekeruhan kornea sehingga mengubah kurvatura sehingga ketajaman penglihatan turun. Jumlah keratosit

yang mengalami perubahan bentuk mulai turun ketika luka mulai terisi dan respon fase lambat remodeling mengambil alih selama berminggu-minggu sampai tahunan untuk mencoba pembentukan ulang kolagen sehingga mengembalikan kejernihan stroma kornea (Tuli, 2005; Hamill, 2011; Kumar, 2013).

Penyembuhan luka endotel kornea tidak mengalami mitosis. Penyembuhan luka endotel dengan mengatur sel-sel sisa dengan cara mengisi bagian yang luka dengan migrasi sel terdekat dan dengan hipertrofi sel sisa untuk mengisi area luka. Kerusakan endotel kornea mengganggu proses perpindahan cairan stroma sehingga terbentuk edema dan bagian yang luka kehilangan kejernihan (Tuli, 2005).

Penyembuhan luka pada insisi sklera sangat berbeda dibandingkan dengan penyembuhan luka pada insisi kornea dan insisi limbal. Bila sklera diinsisi, serabut – serabutnya tidak membengkak melainkan berkontraksi. Tidak ada permukaan epitel ataupun endotel yang melintasi celah sedangkan sklera berperan kecil pada penyembuhan luka. Tetapi adanya jaringan bervaskular tinggi di sekitarnya seperti episklera atau uvea sangat berperan dalam penyembuhan luka pada sklera dengan pembentukan jaringan parut. Perlu waktu beberapa minggu agar jaringan parut mencapai penyembuhan sempurna (Jaffe, 1990).

Luka pada sclera menstimulasi episklera agar bermigrasi ke bawah luka sklera untuk mensuplai pembuluh darah, fibroblas, dan mengaktifasi makrofag. Luka yang juga mengenai jaringan uvea di bawah sclera mengakibatkan jaringan fibrovaskular uvea mengisi luka sclera sehingga terbentuk perlengketan antara uvea dan sklera.

Limbus adalah struktur yang kompleks terdiri dari kornea, sklera dan jaringan episklera. Limbus memiliki sel stem terletak di daerah peralihan sel epitel konjungtiva dan kornea. Ciri khas sel stem mampu dalam memperbaharui diri. Keadaan fisiologis yang normal, sel stem limbus memiliki siklus sel yang lambat tapi masa hidup dan kemampuan proliferasinya tidak terbatas. Luka limbus menyebabkan edema kornea dan menyusutkan sklera. Penyembuhan luka limbus di antaranya pertumbuhan pembuluh darah episklera ke limbus dan migrasi fibroblas kornea yang jernih. Pembedahan kornea yang jernih dan insisi limbus menghasilkan respon penyembuhan yang berbeda. Perbedaan ini meliputi

kemampuan pertumbuhan vaskuler dari pembuluh darah episklera ke luka limbus dan tidak adanya pembuluh darah pada luka kornea yang jernih. Remodeling permukaan epitel luka kornea jernih tidak terdapat pada luka limbus (AAO Ophthalmic Pathology and Intraocular Tumors, 2019-2020).

4. Pengaruh luka insisi yang menginduksi astigmatisme pasca fakoemulsifikasi (*Surgical Induced Astigmatisme*).

Posisi insisi/sayatan kornea mempengaruhi derajat SIA dikarenakan jarak masing-masing lokasi yang berbeda ke sumbu aksis visual. Posisi sayatan/insisi antara lain temporal, superior dan nasal. Insisi temporal menyebabkan derajat SIA yang lebih rendah dibandingkan yang superior dikarenakan kedekatan limbus superior ke visual aksis dan aksesibilitas bedah yang lebih baik untuk ahli bedah dikarenakan tidak terhalangnya oleh bagian alis dan tulang orbita sedangkan insisi temporal dan nasal memiliki perubahan kornea dan astigmatisme yang sebanding 8 minggu pasca operasi, meskipun perubahan pada pendekatan nasal lebih besar periode pasca awal operasi (Nikose *et al.*, 2018; Hayashi *et al.*, 2019).

Astigmatisme yang diinduksi oleh operasi katarak merupakan suatu permasalahan yang cukup kompleks karena dipengaruhi oleh berbagai macam faktor antara lain adanya astigmatisme pra operasi, teknik operasi yang digunakan, ukuran sayatan dan lokasi sayatan/insisi. Sayatan/insisi pada operasi akan menghasilkan celah/*gap* sehingga terjadi efek *flattening* kurvatur kornea meridian insisi tersebut, serta menghasilkan efek *steepening* pada kurvatur kornea meridian yang tegak lurus sayatan tersebut. Hal ini dikenal dengan *coupling effect* (Burrato and Sacchi, 2014; Ozyol *et al.*, 2012; Tadros *et al.*, 2004).

Studi pendahuluan tentang hubungan antara perubahan histologi kornea dan astigmatisme yang diinduksi pasca pembedahan fakoemulsifikasi adanya penurunan kepadatan sel endotel dan perubahan histologi pada insisi kornea berhubungan dengan SIA. Namun, mekanisme perlu dipelajari lebih lanjut (Du *et al.*, 2014). Teknik operasi yang digunakan akan mempengaruhi besaran *Surgical Induced Astigmatism* (SIA), teknik dengan sayatan kornea (insisi *clear* kornea) akan lebih besar menyebabkan SIA dibandingkan dengan sayatan pada limbus

maupun sklera. Numan dkk menyatakan bahwa pengalaman dalam operasi katarak akan mempengaruhi besaran astigmatisme yang diinduksi oleh fakoemulsifikasi (Numan, 2015).

Penjelasan sebelumnya sayatan 3-plane clear corneal incision menghasilkan struktur luka yang lebih kedap pasca operasi dibandingkan dengan sayatan 2-plane. Sedangkan penelitian lainnya menyebutkan konstruksi sayatan 1-plane atau 2-plane menimbulkan SIA yang lebih kecil bila dibandingkan dengan sayatan 3-plane. Namun Tan dkk menyebutkan perbedaan nilai SIA pada kedua struktur sayatan tersebut, dan didapatkan bahwa SIA pada sayatan 3-plane menghasilkan SIA yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan sayatan 2-plane (Soekardi, 2004; Koch, 2015; Rapisarda, 2004; Buratoo, 2014; Ozyol, 2012; Tadros, 2004; Alpins, 1997; Dalton, 2012; Numan, 2015).

Sejumlah penelitian menyatakan semakin kecil sayatan, semakin kecil pula SIA yang diakibatkannya. Kohnen dkk pada penelitiannya menggunakan sayatan dengan ukuran 3,2 mm dan 5,2 mm, didapatkan bahwa ukuran yang lebih kecil menyebabkan SIA yang relatif lebih kecil. Ukuran sayatan yang semakin kecil dimungkinkan dengan perkembangan implantasi LIO foldable pada operasi fakoemulsifikasi. Wei dkk pada penelitiannya menggunakan sayatan ukuran 2.5 mm dan 3.5 mm, dengan hasil yang sesuai dengan penelitian - penelitian sebelumnya dimana SIA yang lebih kecil dihasilkan oleh sayatan yang lebih kecil. Izquierdo Jr dkk dalam penelitiannya melakukan perhitungan SIA pada sayatan kornea 3,2 mm, 2,2 mm dan 1,8 mm, dengan hasil SIA semakin kecil pada sayatan yang lebih pendek (Kohnen, 1995; Izquierdo, 2011; Wei, 2012; Klamann, 2013; Chang, 2015; Yang 2017)

Tejedor dkk dalam studinya yang menggunakan sayatan ukuran 2.8 mm pada fakoemulsifikasi, menyatakan bahwa letak sayatan di superior dan nasal mencetuskan SIA yang lebih besar dibandingkan dengan sayatan di temporal. Yoon dkk dalam penelitiannya yang menggunakan sayatan 3 mm menyatakan hal yang berbeda, dimana tidak terdapat perbedaan pada sayatan yang dilakukan di nasal maupun temporal. Pada penelitian ini seluruh operator menggunakan sayatan di temporal dengan ukuran sayatan berkisar 2.75 mm hingga 2.9 mm bergantung pada jenis lensa yang digunakan. Besar nilai SIA

yang didapatkan berkisar antara 0,22 hingga 0,53 D (Tejedor, 2009; Sethi, 2017; Yoon, 2014).

Sayatan dengan ukuran sekitar 2,5 mm di temporal umumnya akan menginduksi terjadinya astigmatisme pascaoperasi sebesar 0,4-0,6 dioptri, atau lebih kecil 50% dibandingkan dengan sayatan ukuran yang sama di superior. Al Mahmood dkk menyatakan sayatan di superior menghasilkan SIA sebesar kurang lebih 1,44 dioptri. Wei dkk dalam penelitiannya menuliskan jenis astigmatisme praoperasi tidak mempengaruhi besar SIA, namun Barequet dkk dalam penelitiannya menemukan bahwa astigmatisme against the rule memiliki ukuran SIA yang lebih besar dibandingkan dengan *with the rule* (Dalton, 2012; Al Mahmood, 2014).

Nikose dkk menyatakan sayatan kornea dengan ukuran insisi 2,8 mm dapat menutup sendiri/*self sealing* tanpa adanya perdarahan, memberikan stabilitas dan penyembuhan luka yang sangat baik. SIA pada kelompok insisi clear kornea bagian temporal lebih sedikit dibandingkan pada kelompok superior dan memberikan hasil visual yang lebih baik, kualitas optik yang baik, dan kepuasan pasien yang baik (Nikose *et al.*, 2018).

Sebagian besar insisi kornea, limbal, atau skleral dengan panjang kurang dari 3 mm akan menyebabkan astigmatisme kurang dari 1,00 D dan mendatar (*flat*) pada sumbu insisi. Sayatan yang lebih besar di area kornea superior atau yang membutuhkan penutupan jahitan lebih tinggi menyebabkan astigmatisme. Jahitan pada insisi untuk menutup luka yang erat dapat menyebabkan lengkungan kornea yang curam/*steep* di sumbu jahitan terutama pada teknik operasi ekstraksi katarak intracapsular (ICCE) (AAO *Lens and Cataract*, 2019-2020).

Penderita astigmatisme sebagian besar adalah *with the rule astigmatism* yaitu kelengkungan kornea pada aksis vertical lebih steep dibandingkan horizontal, *with the rule astigmatism* adalah benda atau garis yang vertical 90 derajat akan memberikan bayangan iyang lebih jelas dibandingkan benda atau garis yang horizontal 180 derajat. Jika melakukan insisi kornea dari arah temporal cenderung menyebabkan pendataran pada sumbu horizontal kornea

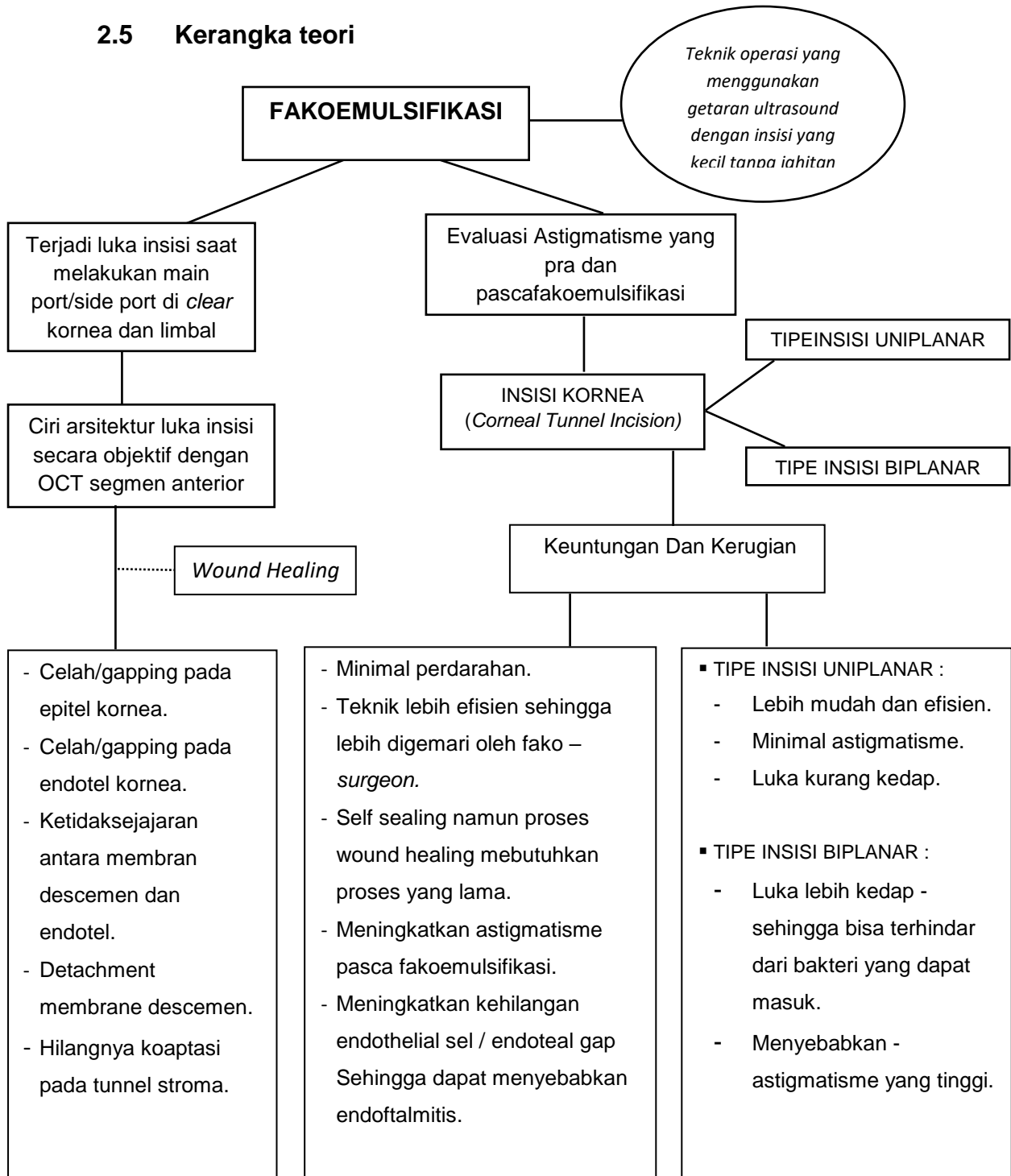
sehingga mengakibatkan *with the rule astigmatism*, sebaliknya jika melakukan insisi disuperior cenderung mengakibatkan induksi *against the rule astigmatism* (Soekardi, 2004).

Arsitektur 3 sudut akan menimbulkan induksi astigmatisme yang paling besar yaitu menyebabkan pendataran (*flattening*) kornea pada lokasi insisi tersebut sebesar 0,75-1.50 dioptri (pada insisi dengan panjang 3,5 mm) dibandingkan 2 insisi clear cornea lainnya. Induksi astigmatisme yang paling kecil adalah dengan arsitektur 1 sudut (*single plane*), dimana hanya menyebabkan pendataran kornea sebesar 0 – 0,50 dioptri. Insisi dengan arsitektur 2 sudut (*two plane incision*) merupakan jenis insisi yang moderat dalam hal induksi astigmatisme yaitu antara 0,25-0,75 dioptri (Soekardi, 2004).

Berdasarkan uraian di atas, jika pemeriksaan pre-operatif menunjukkan pasien menderita *against the rule astigmatism* di atas 1.00 dioptri dalam hal ini kelengkungan kornea lebih steep pada meridian horizontal, maka jenis insisi yang paling tepat adalah *3 plane incision* pada kornea dengan lokasi di bagian temporal, dimana setelah operasi tidak perlu dilakukan jahitan tetapi cukup dengan hidrasi stroma untuk menutup luka. Insisi dengan cara ini akan sekaligus menetralkan astigmatisme yang ada. tetapi jika astigmatisme yang diderita *with the rule astigmatism* kelengkungan kornea lebih besar pada meridian vertikal maka saat melakukan insisi lebih baik arsitektur satu sudut (*single plane*) pada bagian kornea sehingga induksi astigmatisme lebih rendah atau kecil, kemudian setelah operasi selesai sebaiknya dilakukan penjahitan pada luka untuk menetralkan astigmatisme yang diderita pasien namun ikatan benang pada luka jangan terlalu kencang ditakutkan menyebabkan kelengkungan kornea menjadi steep. Jika insisi dilakukan pada bagian temporal jahitan yang kencang akan menyebabkan kelengkungan kornea pada meridian horizontal 180 derajat akan lebih cembung dan hal ini menetralkan astigmatisme pada meridian vertikal yang dialami penderita *with the rule astigmatism*. Penentuan seberapa kencang benang pada insisi membutuhkan pengalaman, dimana pada tahap awal sebaiknya kita menggunakan alat seperti topografi kornea/placido ring. Jika lingkaran menggambarkan bulat dan simetris maka hal tersebut menunjukkan bahwa astigmatisme yang terjadi sangat minimal. Tetapi jika bentuknya lonjong ke arah vertikal kornea maka kornea pada meridian vertikal lebih datar/*flat*

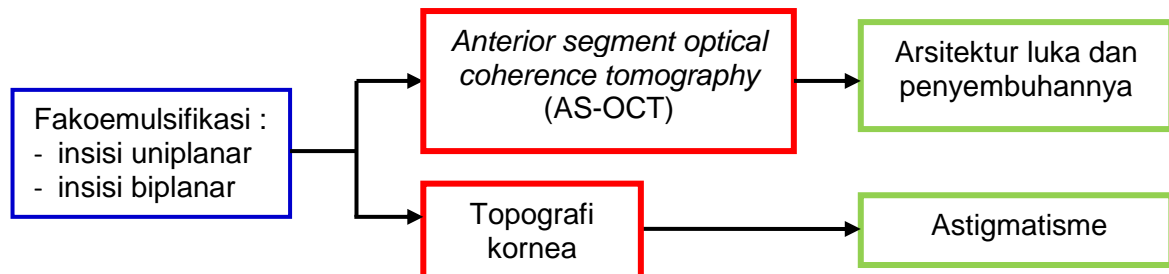
dibandingkan meridian horizontal menyebabkan keadaan *against the rule astigmatism* (Soekardi, 2004).

2.5 Kerangka teori



Gambar 2.15. Kerangka teori.

2.6 Kerangka Konsep



Keterangan :

Variabel bebas

Variabel antara

Variabel terikat

Gambar 2.16. Kerangka konsep

2.7 Hipotesis Penelitian

- H₀₁: Tidak terdapat perbedaan arsitektur luka setelah fakoemulsifikasi pada insisi *clear* kornea uniplanar dan biplanar.
- H_{a1}: Terdapat perbedaan arsitektur luka setelah fakoemulsifikasi pada insisi *clear* kornea uniplanar dan biplanar.
- H₀₂: Tidak terdapat perubahan astigmatisme sebelum dan setelah fakoemulsifikasi pada insisi *clear* kornea uniplanar dan biplanar.
- H_{a2}: Terdapat perubahan astigmatisme sebelum dan setelah fakoemulsifikasi pada insisi *clear* kornea uniplanar dan biplanar.
- H₀₃: Tidak terdapat perubahan axis sebelum dan setelah fakoemulsifikasi pada insisi *clear* kornea uniplanar dan biplanar.
- H_{a3}: Terdapat perubahan axis sebelum dan setelah fakoemulsifikasi pada insisi *clear* kornea uniplanar dan biplanar.
- H₀₄: Tidak terdapat hubungan antara arsitektur luka kornea terjadinya *gap* endotel kornea dengan astigmatisme setelah fakoemulsifikasi.
- H_{a4}: Terdapat hubungan antara arsitektur luka kornea terjadinya *gap* endotel kornea dengan astigmatisme setelah fakoemulsifikasi.